

**INFLUENCIA DE LOS PISOS TÉRMICOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA  
NORMA ISO 16358-1 PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR DE DESEMPEÑO  
ESTACIONAL DE ENFRIAMIENTO EN COLOMBIA**

**ANDRÉS FELIPE ARIAS MORALES**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
PEREIRA  
2020**

**INFLUENCIA DE LOS PISOS TÉRMICOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA  
NORMA ISO 16358-1 PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR DE DESEMPEÑO  
ESTACIONAL DE ENFRIAMIENTO EN COLOMBIA**

**ANDRÉS FELIPE ARIAS MORALES**

**Proyecto de grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**DIRECTOR**

**D.Sc. YAMID ALBERTO CARRANZA SANCHEZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PEREIRA**

**2020**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar la realización de este documento, que de alguna manera simboliza las competencias que he desarrollado a lo largo de mi formación académica, a mis padres, porque sin ellos, nada de esto hubiera sido posible.

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo manifestar un enorme agradecimiento a las personas que han sido parte fundamental de este trabajo, y permitieron cumplir los objetivos propuestos.

Al director del trabajo de grado, Yamid Alberto Carranza Sánchez, profesor de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad tecnológica de Pereira, por sus enseñanzas, compromiso, y paciencia.

Al director del Laboratorio de Ensayos para Equipos Acondicionadores de Aire (LPEA) de la Universidad Tecnológica de Pereira, Álvaro Restrepo, por permitirme ser parte de este proyecto.

Al ingeniero Ángel Andrade, por su dedicación, paciencia, ayuda en la interpretación de los resultados de las pruebas de laboratorio y todas las inquietudes resueltas.

A los integrantes del Laboratorio de Ensayos para Equipos Acondicionadores de Aire, por su colaboración en la ejecución de las pruebas.

A la Universidad Tecnológica de Pereira y al Laboratorio de Ensayos para Equipos Acondicionadores de Aire por brindarme el espacio y los recursos para cumplir los objetivos.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.1. Objetivo general .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 ESTRUCTURA DEL TRABAJO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. NORMATIVIDAD, CONCEPTOS Y MÉTODOS DE PRUEBA .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Sistema acondicionador de aire:.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.1 Sistema acondicionador de aire de velocidad fija .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.2 Sistema acondicionador de aire inverter .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Laboratorio de pruebas y ensayos para equipos acondicionadores de     aire.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Norma ISO 5151.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 Norma ISO 16358 .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4.1 Condiciones de prueba.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4.2 Métodos de prueba .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4.3 Distribución de temperaturas exteriores .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4.4 Carga de enfriamiento definida .....</b>	<b>22</b>
<b>2.5 Energy Efficiency Ratio (EER).....</b>	<b>23</b>
<b>2.6 Cooling Seasonal Performance Factor (CSPF) .....</b>	<b>24</b>
<b>2.7 El clima en Colombia .....</b>	<b>24</b>
<b>2.8 Clasificación climática .....</b>	<b>25</b>
<b>3. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE CIUDADES REPRESENTATIVAS DE ALGUNOS PISOS TÉRMICOS .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Procesamiento de datos de temperatura a largo plazo .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.1 Medellín .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1.2 Cali.....</b>	<b>38</b>
<b>3.1.3 Barranquilla.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1.4 Cúcuta .....</b>	<b>42</b>
<b>3.1.5 Bucaramanga .....</b>	<b>44</b>
<b>3.1.6 Villavicencio.....</b>	<b>46</b>

3.1.7 Pereira .....	48
3.2 Construcción de tabla de temperaturas exteriores de referencia.....	51
4. PROCESAMIENTO EXPERIMENTAL .....	61
5. RESULTADOS DEL ENSAYO DE LABORATORIO Y CÁLCULO DEL CSPF	63
5.1 Equipo de velocidad fija .....	64
6. CONCLUSIONES .....	94
7. RECOMENDACIONES .....	97
BIBLIOGRAFÍA .....	97
7. ANEXOS .....	101

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Condiciones estándar de temperatura.....	19
<b>Tabla 2.</b> Condiciones de prueba establecidas por la norma ISO 16358-1.....	20
<b>Tabla 3.</b> Temperaturas exteriores de referencia, Norma ISO 16358-1.....	21
<b>Tabla 4.</b> Carga de enfriamiento definida.....	22
<b>Tabla 5.</b> Pisos térmicos de Colombia.....	27
<b>Tabla 6.</b> Ciudades más pobladas de Colombia y su clima.....	31
<b>Tabla 7.</b> Ciudades representativas de algunos pisos térmicos colombianos.....	33
<b>Tabla 8.</b> Frecuencia de temperatura anual en Medellín.....	36
<b>Tabla 9.</b> Frecuencia de temperatura anual en Cali.....	38
<b>Tabla 10.</b> Frecuencia de temperatura anual en Barranquilla.....	40
<b>Tabla 11.</b> Frecuencia de temperatura anual en Cúcuta.....	42
<b>Tabla 12.</b> Frecuencia de temperatura anual en Bucaramanga.....	44
<b>Tabla 13.</b> Frecuencia de temperatura anual en Villavicencio.....	46
<b>Tabla 14.</b> Frecuencia de temperatura anual en Pereira.....	48
<b>Tabla 15.</b> Ciudades con su respectiva altura y temperatura media del aire en 2018.....	50
<b>Tabla 16.</b> Número de veces en que se ha medido la temperatura de 25°C en cada ciudad.....	53
<b>Tabla 17.</b> Frecuencia promedio obtenido para la temperatura de 25°C.....	54
<b>Tabla 18.</b> Frecuencia de temperatura ponderada para Colombia en el año 2018.....	54
<b>Tabla 19.</b> Resultados de probabilidad obtenidos de la función de densidad.....	60
<b>Tabla 20.</b> Tabla de temperaturas exteriores de referencia para Colombia.....	61
<b>Tabla 21.</b> Resultados del ensayo de laboratorio a equipo de velocidad fija.....	64
<b>Tabla 22.</b> Resultado del cálculo del CSPF en Colombia de un equipo de velocidad fija.....	65
<b>Tabla 23.</b> Resultado del cálculo del CSPF de un equipo de velocidad fija según la norma ISO 16358-1.....	73
<b>Tabla 24.</b> Clasificación de eficiencia energética en Filipinas.....	75

<b>Tabla 25.</b> Resultados del ensayo de laboratorio a equipo de velocidad fija. ....	76
<b>Tabla 26.</b> Resultado del cálculo del CSPF en Colombia de un equipo de velocidad variable.....	78
<b>Tabla 27.</b> Resultado del cálculo del CSPF de un equipo de velocidad variable según la norma ISO 16358-1. ....	91
<b>Tabla 28.</b> Tabla de probabilidades acumuladas de una distribución normal estándar. Parte 1.....	101
<b>Tabla 29.</b> Tabla de probabilidades acumuladas de una distribución normal estándar. Parte 2.....	102



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Vista superior de la cámara calorimétrica. ....	18
<b>Figura 2.</b> Mapa de distribución de pisos térmicos en Colombia. ....	28
<b>Figura 3.</b> Gráfica de horas vs temperatura en la ciudad de Medellín en el año 2018.....	37
<b>Figura 4.</b> Gráfica de horas vs temperatura en la ciudad de Cali en el año 2018..	39
<b>Figura 5.</b> Gráfica de horas vs temperatura en la ciudad de Barranquilla en el año 2018.....	41
<b>Figura 6.</b> Gráfica de horas vs temperatura en la ciudad de Cúcuta en el año 2018. ....	43
<b>Figura 7.</b> Gráfica de horas vs temperatura en la ciudad de Bucaramanga en el año 2018.....	45
<b>Figura 8.</b> Gráfica de horas vs temperatura en la ciudad de Villavicencio en el año 2018.....	47
<b>Figura 9.</b> Gráfica de horas vs temperatura en la ciudad de Pereira en el año 2018. ....	49
<b>Figura 10.</b> Horas vs temperatura en Colombia.....	56
<b>Figura 11.</b> Distribución de densidad.....	58
<b>Figura 12.</b> Carga de enfriamiento definida y capacidad de enfriamiento vs temperatura exterior.....	68
<b>Figura 13.</b> Potencia de entrada vs temperatura exterior.....	70
<b>Figura 14.</b> Carga de enfriamiento definida, capacidad de enfriamiento a plena y media carga.....	82
<b>Figura 15.</b> Potencia de consumo a plena y media carga.....	84
<b>Figura 16.</b> Relación de eficiencia energética. ....	88

## RESUMEN

La norma internacional ISO 16358-1 pretende ser implementada a las condiciones climáticas de Colombia. Se realiza el cálculo del factor de desempeño estacional de enfriamiento (*Cooling Seasonal Performance Factor* CSPF) a un equipo acondicionador de aire considerando la influencia del clima colombiano y los resultados son comparados con el valor de CSPF del mismo componente climatizador, obtenido al tener en cuenta los valores ya establecidos en el estándar internacional. Para efectuar este procedimiento es necesario acceder a un registro histórico nacional de temperaturas, que al ser empleado adecuadamente, permite encontrar una función de distribución normal, fundamental para el cumplimiento de los objetivos del trabajo.

El incremento de la energía consumida por sistemas de refrigeración y las emisiones de gases que producen, se han convertido en un motivo de preocupación, y un propósito prioritario en las políticas energéticas de muchos países, por lo tanto, la consideración de indicadores de eficiencia energética es pertinente. Actualmente, países como Australia, Estados Unidos, China, entre otros, hacen uso de los datos de temperatura a largo plazo para conocer los requerimientos energéticos necesarios para elaborar la adecuación climática y evaluar la eficiencia energética de un espacio.

En este documento se encuentra la tabla de distribuciones de temperaturas agrupadas, necesarias para el cálculo del factor de desempeño estacional de enfriamiento (CSPF) de un equipo acondicionador de aire que opere bajo las condiciones climáticas colombianas; son plasmadas las evidencias obtenidas en los ensayos bajo la implementación del estándar ISO 16358-1 y un análisis comparativo de los resultados del factor de rendimiento estacional de enfriamiento

cuando se considera la influencia del ambiente nacional, y cuando no se tiene en cuenta.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los equipos acondicionadores de aire presentan un alto índice de contaminación, no solo por la huella de carbono que poseen los refrigerantes, sino también por el alto consumo de energía que tienen estos equipos, pues se estima que su uso representa el 20% del total del gasto energético en países desarrollados [1]. El incremento de la energía consumida por sistemas de refrigeración y las emisiones de gases que producen se han convertido en un motivo de preocupación, y un propósito prioritario en las políticas energéticas de muchos países [2]. Para reducir la contaminación producida por equipos acondicionadores de aire, gran cantidad de naciones hacen uso de normas de eficiencia energética que son la herramienta fundamental para lograr objetivos de conservación de energía y de reducción de emisiones contaminantes [3].

Diversos tratados a nivel mundial han implementado políticas para reducir el daño que producen los equipos en contexto a la capa de ozono y su aporte negativo al calentamiento global. Uno de los métodos para contrarrestar dicho efecto, es la puesta en funcionamiento de parámetros para cuantificar el daño producido al ambiente y el uso de factores de desempeño energético de los acondicionadores de aire, como lo son el potencial de agotamiento de ozono (*Ozone Depletion Potential* ODP), el potencial de calentamiento global (*Global Warming Potential* GWP), la relación de eficiencia energética (*Energy Efficiency Ratio* EER) y el factor de desempeño estacional de enfriamiento (*Cooling Seasonal Performance Factor* CSPF), estando este último estrechamente relacionado con la ubicación y las condiciones climáticas en que se encuentre operando el equipo [4].

La norma ISO 16358-1 “*Air-cooled air conditioners and air-to-air heat pumps – Testing and calculating methods for seasonal performance*”, es un estándar internacional que se encarga de establecer los parámetros de medidas de equipos de aire acondicionado cubiertos por la norma ISO 5151 “*Non-ducted air conditioners and heat pumps – Testing and rating for performance*” [5] y los métodos de cálculo del factor de rendimiento estacional de enfriamiento, tomando como referencia diferentes temperaturas del ambiente, todo esto con fines de mercadeo, comparación y certificación de equipos de aire acondicionado [6]. Para facilitar este proceso, en el estándar se encuentran adjuntos una tabla de distribuciones de temperatura y gráficas de cargas de enfriamiento de unidades de refrigeración de diferentes etapas con base en unas temperaturas de aire ambiente de referencia generalizadas, que pueden ser modificados para diferentes condiciones climáticas.

Debido a su ubicación geográfica, las regiones del planeta tierra que ocupan el espacio entre las líneas latitudinales, trópico de cáncer y trópico de capricornio o mejor denominado zona intertropical, a diferencia de las extensiones del norte y del sur que presentan las cuatro temporadas climáticas del año [7], experimentan los diferentes cambios meteorológicos en función de la altura de la superficie sobre el nivel del mar, sin verse afectado por la época del año. Lo anterior ocurre en Colombia [8], donde aplica el concepto de pisos térmicos o pisos bióticos, usado para considerar la temperatura de una zona, tomando como referencia su altura, lo cual es esencial para la adaptación del estándar en el país.

En Colombia, la Ley 697 de 2001 fomenta el uso racional y eficiente de la energía, para contribuir a la elevación de la calidad de vida sin agotar los recursos naturales renovables, ni deteriorar el medio ambiente [9]. La promulgación de esta ley da paso para que en el país se haya hecho obligatorio el etiquetado de electrodomésticos desde el año 2016, en el que el Reglamento Técnico de

Etiquetado (RETIQ) ha establecido unos rangos mínimos de eficiencia energética para los equipos que son comercializados en la región, con el objetivo de tener acceso exclusivamente a los de mayor calidad. En el caso de los acondicionadores de aire que se ensayan en la Universidad Tecnológica de Pereira, para conseguir la demarcación de la etiqueta, los equipos deben ser sometidos a prueba en un calorímetro bajo las condiciones estipuladas en la norma ISO 5151 para determinar la relación de eficiencia energética, la capacidad de enfriamiento y la potencia consumida, como ocurre en el Laboratorio de Ensayos de Equipos Acondicionadores de Aire (LPEA).

Particularmente, para realizar las pruebas en el LPEA, es necesario fijar una temperatura al interior de la cámara en que está operando la unidad condensadora, de modo que no se consideran las variaciones que se puedan presentar en el ambiente como causa de la ubicación geográfica del equipo acondicionador de aire. Se pretende entonces, establecer la influencia de los pisos térmicos en la implementación de la norma ISO 16358-1 para el cálculo del *cooling seasonal performance factor*.

El propósito principal de este trabajo de grado es adaptar la norma anteriormente mencionada a las condiciones climáticas de Colombia para el cálculo del factor de desempeño estacional de enfriamiento (CSPF) y, de esta manera, tener un parámetro adicional de comparación en la determinación del rendimiento de equipos acondicionadores de aire, útil para los propósitos de pruebas del LPEA y empresas locales o exportadoras que se desempeñen en esta área.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo general**

Realizar un estudio sobre la influencia de los pisos térmicos en Colombia en la implementación y adaptación de la norma ISO 16358-1 para el cálculo del factor de desempeño estacional de enfriamiento (CSPF) en equipos acondicionadores de aire.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Identificar y caracterizar las ciudades que representan algunos pisos térmicos en Colombia.
- Establecer el diseño experimental para llevar a cabo las pruebas de algunos equipos acondicionadores de aire bajo las condiciones representativas de los pisos térmicos colombianos.
- Llevar a cabo los ensayos bajo la implementación del estándar ISO 16358-1 y procesar la información para obtener los parámetros de desempeño definidos por el estándar.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados de la implementación de la norma, considerando la influencia de los pisos térmicos, con los resultados que presentan los equipos que no se encuentran bajo las condiciones definidas por la norma colombiana.

## **1.2 ESTRUCTURA DEL TRABAJO**

El presente documento comprende cinco capítulos que tienen la intención de ilustrar al lector sobre la influencia de los pisos térmicos en el cálculo del factor de desempeño estacional de enfriamiento en Colombia, proponiendo una cronología que pueda facilitar la comprensión del texto.

De manera general, el primer capítulo es un abreboca del proyecto, que pretende generar una idea acerca de la razón por la que se desea desarrollar el trabajo, y los objetivos planteados.

En el segundo capítulo se presenta una contextualización de los términos fundamentales para un mejor entendimiento del trabajo a través de una revisión bibliográfica y de la comprensión de los conceptos relevantes en la temática abordada.

Posteriormente se emprende la ejecución de los objetivos específicos y se exhibe, en el capítulo tres, el método usado para caracterizar el clima colombiano y determinar que ciudades representan algunos de los pisos térmicos en país.

El cuarto capítulo consta del diseño experimental propuesto para realizar los ensayos de laboratorio. Los resultados obtenidos durante las pruebas se muestran en el capítulo cinco del documento, junto al análisis pertinente.

Finalmente, en capítulo seis, se encuentran las conclusiones.

## **2. NORMATIVIDAD, CONCEPTOS Y MÉTODOS DE PRUEBA**

En este capítulo se presenta una contextualización de los términos que son objeto principal de estudio para lograr el cumplimiento satisfactorio de los objetivos de la investigación. Son tratados temas como las normas que rigen las condiciones y métodos de prueba que se realizan a los equipos acondicionadores de aire, hasta la definición de pisos térmicos, y lo que diferencia a Colombia de los países que cuentan con las cuatro estaciones del año.

### **2.1 Sistema acondicionador de aire:**

Es un conjunto de elementos por los cuales circula líquido refrigerante trasegado debido al trabajo realizado por un compresor; consta principalmente de una unidad evaporadora donde el fluido pasa inicialmente a baja temperatura y presión, y cambia a estado gaseoso conforme absorbe energía del ambiente, y es impulsado por medio de un conjunto ventilador hacia un recinto con el objetivo de controlar la temperatura y la humedad, al mismo tiempo que limpia el aire del espacio refrigerado; cuenta además con una condensadora que se encarga de expulsar la energía extraída del área de climatización hacia el ambiente. Los equipos acondicionadores de aire pueden ser de velocidad fija (On/Off), de dos etapas, multi-etapas o de velocidad variable (inverter). Para efectos del trabajo se considera pertinente entrar en detalle con los equipos On/Off y los equipos inverter.

#### **2.1.1 Sistema acondicionador de aire de velocidad fija**

Como su nombre lo indica, estos equipos se caracterizan por poseer solo una velocidad de trabajo, lo que significa que siempre están operando al 100% de su capacidad. Cuando ejecuta su función, el acondicionador de aire climatiza un recinto a las condiciones ambientales para las que se ha programado, y



posteriormente se apaga. Luego, cuando la temperatura exterior incrementa, el equipo se enciende nuevamente y se repite el proceso. Esta es la razón por la que también son denominados acondicionadores de aire On/Off.

### **2.1.2 Sistema acondicionador de aire inverter**

A diferencia de los equipos de una sola etapa, estos acondicionadores de aire tienen una tecnología que permite mantener estable la temperatura en un recinto demandando el mínimo gasto energético. Inicialmente, el equipo opera a alta velocidad para acondicionar el ambiente como es requerido, y debido a su facultad de autorregular la potencia del compresor, es posible ralentizar su funcionamiento y mantener firme la temperatura [10].

## **2.2 Laboratorio de pruebas y ensayos para equipos acondicionadores de aire**

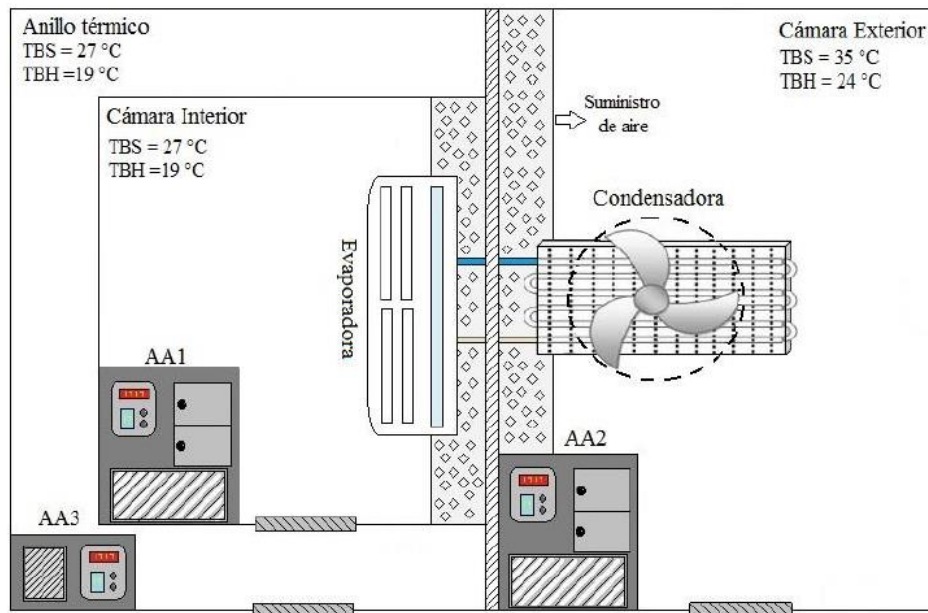
El Laboratorio de pruebas y ensayos para equipos acondicionadores de aire (LPEA) hace parte la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), el cual se encuentra acreditado por la Organismo de Acreditación Nacional de Colombia – ONAC, bajo la norma NTC 4295 (método de ensayo para clasificación de acondicionadores de aire para recinto). El laboratorio cuenta con un calorímetro capaz de evaluar la capacidad de enfriamiento, potencia de consumo y eficiencia energética de una unidad bajo ensayo [11].

Este calorímetro fue implementado como se indica en la norma ISO 5151, el cual posee dos cámaras denominadas interior y exterior, y un anillo térmico alrededor del compartimiento interior. En la cámara interior se simulan las condiciones de confort o carga térmica características de un recinto, mientras en el compartimiento exterior, se establecen las condiciones de temperatura y humedad propias del ambiente externo. Lo anterior, se logra por medio del uso de tres

equipos acondicionadores de aire de precisión (AA1, AA2 y AA3), que cuentan cada uno con sistemas de humidificación, deshumidificación, calefacción y refrigeración independientes.

El anillo térmico de protección tiene como función, disminuir las pérdidas de calor a través de las paredes del recinto, controlando las condiciones ambientales por medio de las unidades de precisión mencionadas anteriormente, para que sean iguales a las presentes en la cámara interior. Además, el calorímetro está compuesto de paredes térmicas y ventanas de doble vidrio colmadas de gas, que tienen como propósito reducir el flujo de energía hacia el exterior [12].

**Figura 1.** Vista superior de la cámara calorimétrica.



**Fuente:**[13].

## 2.3 Norma ISO 5151

De nombre “Non-ducted air conditioners and heat pumps – Testing and rating performance”, tiene como finalidad indicar las condiciones y métodos de prueba

para la determinación de la eficiencia y capacidad, ya sea de enfriamiento o calentamiento de un equipo acondicionador de aire o una bomba de calor, respectivamente.

Dentro de los requerimientos para llevar a cabo las pruebas de capacidad de enfriamiento, y no más importante que las demás, se encuentran las condiciones de temperatura. La norma establece tres rangos característicos que deben ser manejados en las cámaras del calorímetro balanceado, determinantes para la ejecución adecuada de las pruebas, los cuales son presentados en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Condiciones estándar de temperatura.

Parámetro	Condiciones estándar		
	T1	T2	T3
Temperatura del aire ingresando al lado interior			
Bulbo seco	27 °C	21 °C	29 °C
Bulbo húmedo	19 °C	15 °C	19 °C
Temperatura del aire ingresando al lado exterior			
Bulbo seco	35 °C	27 °C	46 °C
Bulbo húmedo	24 °C	19 °C	24 °C

**Fuente:** Adaptado de [5].

## 2.4 Norma ISO 16358

La norma ISO 16358 “*Air-cooled air conditioners and air-to-air heat pumps – Testing and calculating methods for seasonal performance*”, es un estándar internacional compuesto de tres partes, en las que se establecen los parámetros de medidas y métodos de ensayo de equipos de climatización. Particularmente, en la primera parte se presenta el modelo matemático requerido para calcular el *Cooling Seasonal Performance Factor* (CSPF) de equipos acondicionadores de aire, ya sea que tengan funcionamiento del compresor fijo, doble etapa, multi-etapa o velocidad variable y que, además, no se encuentren dentro de las limitaciones de prueba estipuladas por la norma ISO 5151.

### 2.4.1 Condiciones de prueba

Para llevar a cabo el cálculo del factor de desempeño estacional de enfriamiento de manera adecuada, es pertinente desarrollar previamente pruebas de carácter reglamentario asociadas al tipo de equipo que se va a someter a estudio. La norma ISO 16358-1 estipula las condiciones de temperatura que deben presentarse en la cámara interior y exterior del calorímetro balanceado, que para las pruebas de capacidad de enfriamiento estándar corresponden a las condiciones de clima moderado T1, mientras que en el caso de baja humedad y enfriamiento cíclico, difiere la temperatura del aire exterior con un valor de 29°C. Las condiciones de temperatura y humedad de las pruebas están definidas en la Tabla 1 para cada tipo de equipo.

**Tabla 2.** Condiciones de prueba establecidas por la norma ISO 16358-1.

Prueba	Características	Tipo de equipo				
		Fijo	Dos etapas	Multi-etapa	Variable	Valor por defecto
Capacidad de enfriamiento estándar	Capacidad total $\phi_{ful}$ (35) (W)	•	•	•	•	—
	Potencia de entrada total $P_{ful}$ (35) (W)	•	•	•	•	—
Interior - Bulbo seco 27°C	Capacidad media $\phi_{haf}$ (35) (W)	—	—	◦	•	$\phi_{haf} (29)/1,077$
Bulbo húmedo 19°C	Potencia de entrada media $P_{haf}$ (35) (W)	—	—	◦	•	$P_{haf} (29)/0,914$
Exterior - Bulbo seco	Capacidad mínima $\phi_{min}$ (35) (W)	—	◦	◦	◦	$\phi_{min} (29)/1,077$
35°C Bulbo húmedo 24°C	Potencia de entrada mínima $P_{min}$ (35) (W)	—	◦	◦	◦	$P_{min} (35)/0,914$
Capacidad de enfriamiento a baja	Capacidad total $\phi_{ful}$ (29) (W)	•	•	•	—	$1,077 * \phi_{ful} (35)$
	Potencia de entrada total $P_{ful}$ (29) (W)	•	•	•	—	$0,914 * P_{ful} (35)$
Interior - Bulbo seco 27°C	Capacidad media $\phi_{haf}$ (29) (W)	—	—	•	◦	$1,077 * \phi_{haf} (35)$
Bulbo húmedo 19°C	Potencia de entrada media $P_{haf}$ (29) (W)	—	—	•	◦	$0,914 * P_{haf} (35)$
Exterior - Bulbo seco	Capacidad mínima $\phi_{min}$ (29) (W)	—	•	◦	◦	—
29°C Bulbo húmedo 19°C	Potencia de entrada mínima $P_{min}$ (29) (W)	—	•	◦	◦	—
Baja humedad y enfriamiento cíclico	Coeficiente de degradación $C_o$	Capacidad total	◦	—	—	0,25
Interior - Bulbo seco 27°C		Capacidad media	—	—	◦	0,25
Bulbo húmedo $\geq 19^\circ\text{C}$		Capacidad mínima	—	◦	◦	0,25
Exterior - Bulbo seco						
29°C Bulbo húmedo -						
• Prueba requerida						
◦ Prueba opcional						

**Fuente:** Adaptado de [6].

### 2.4.2 Métodos de prueba

Cada una de las pruebas mencionadas en la Tabla 1, tiene que desarrollarse de acuerdo con una metodología respectiva, la cual se encuentra plasmada en la norma.

En la prueba de capacidad de enfriamiento estándar, debe ser medida la capacidad plena y la potencia de entrada efectiva del acondicionador de aire. Cuando de capacidad media se trata, es necesario llevar el equipo al 50% de carga total de operación; mientras que cuando es requerida la prueba de mínima capacidad, la unidad debe operar en su ajuste de trabajo más bajo, conservando su labor en estado estable [6].

### 2.4.3 Distribución de temperaturas exteriores

El estándar ISO 16358-1, cuenta con una tabla (Tabla 3) que enumera quince datos de temperaturas de ambiente exterior en las que se considera necesario el uso de equipos acondicionadores de aire. Para cada temperatura, existe un ítem denominado horas de referencia que representa el número de horas en las que estuvo presente dicha variable durante un periodo de tiempo determinado, y la fracción que se obtiene de la división de cada uno de los valores de las horas de referencia entre el número total de horas tabuladas. Más adelante se aborda nuevamente la Tabla 3 de forma más detallada.

**Tabla 3.** *Temperaturas exteriores de referencia, Norma ISO 16358-1.*

Número	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total
Temperatura exterior (t <sub>j</sub> ) °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	—
Fracción	0,055	0,076	0,091	0,108	0,116	0,118	0,116	0,1	0,083	0,066	0,041	0,019	0,006	0,003	0,002	—
Horas de referencia (h <sub>j</sub> ) h	100	139	165	196	210	215	210	181	150	120	75	35	11	6	4	1817

**Fuente:** Adaptado de [6].

La Tabla 3, es propia del estándar internacional, y es de gran importancia para llevar a cabo los cálculos precisados en la norma. En este trabajo, se pretende elaborar una tabla de estas características, disponible para Colombia.

#### 2.4.4 Carga de enfriamiento definida

**Tabla 4.** Carga de enfriamiento definida.

Parámetro	Load zero (0)	Load 100%
Cooling load (W)	0	$\phi_{ful}(t_{100})$
Temperature (°C)	$t_0$	$t_{100}$

**Fuente:** [6].

La carga de enfriamiento definida está directamente ligada con la Tabla 3, por lo tanto, depende de la temperatura de la temporada de enfriamiento y de la capacidad de enfriamiento y se asume que tiene un comportamiento lineal en función de la temperatura exterior.

$t_{100}$  corresponde a la temperatura máxima establecida en la tabla de temperaturas exteriores de referencia, mientras que  $t_0$ , es la temperatura cuando la carga de enfriamiento es del 0%. Es válido resaltar que el aumento en la temperatura exterior es directamente proporcional a la carga de enfriamiento. Su ecuación está dada por:

$$L_c(t_j) = \phi_{ful}(t_{100}) \cdot \frac{t_j - t_0}{t_{100} - t_0} \quad (1)$$

Donde:

$L_c(t_j)$ : Carga de enfriamiento en función de  $t_j$ .

$t_j$ : Temperatura exterior.

$\phi_{ful}(t_{100})$ : Capacidad de enfriamiento total en función de  $t_{100}$ .

$t_{100}$ : Temperatura máxima establecida en la tabla de temperaturas exteriores de referencia.

$t_0$ : Temperatura cuando la carga de enfriamiento es del 0%.

## **2.5 Energy Efficiency Ratio (EER)**

Se define *Energy Efficiency Ratio* a la relación que existe entre el calor extraído de un recinto y la potencia consumida por un equipo de acondicionamiento de aire. La ecuación para el cálculo del EER por medio del calorímetro balanceado está dada por:

$$EER = \frac{\Phi_{tci}}{P_t} \quad (2)$$

Donde:

$\Phi_{tci}$ : Es la capacidad de enfriamiento medida dentro de la cámara interior del calorímetro balanceado.

$P_t$ : Es la potencia consumida por la unidad bajo ensayo.

Es un parámetro de gran importancia para la medición de la eficiencia energética, especialmente de equipos acondicionadores de aire de velocidad fija; pero actualmente ha estado siendo relegado por otros factores de desempeño, como los estacionales, pues se considera que el método de obtención del EER en pruebas de laboratorio difiere del funcionamiento real del equipo en la cotidianidad, por eso, gran cantidad de naciones tienen preferencia por estándares de prueba que evalúan las unidades de climatización a carga parcial, exceptuando principalmente países de América del Sur y del medio oriente, en los que por sus

condiciones ambientales de alta temperatura durante algunas épocas, es necesario que los enfriadores operen a plena carga, por lo que aún siguen adheridos a los ensayos de equipos basados en la norma ISO 5151 [14].

## **2.6 Cooling Seasonal Performance Factor (CSPF)**

El *Cooling Seasonal Performance Factor* (CSPF), está definido por el estándar ISO 16358-1, como la relación que existe entre la cantidad total de calor removido de un espacio acondicionado cuando el equipo está operando en modo activo, y la energía total consumida por el equipo acondicionador de aire en el mismo periodo de tiempo.

A diferencia del EER, el CSPF se encarga de medir la eficiencia energética de los equipos acondicionadores de aire a carga parcial, es decir, a diferentes capacidades de carga; mientras el EER, únicamente representa la eficiencia de la unidad cuando trabaja a carga plena. El CSPF se calcula con la siguiente expresión.

$$F_{CSP} = \frac{L_{CST}}{C_{CSE}} \quad (3)$$

Donde:

$F_{CSP}$ : Factor de desempeño estacional de enfriamiento.

$L_{CST}$ : Carga total estacional de enfriamiento.

$C_{CSE}$ : Consumo energético estacional de enfriamiento.

## **2.7 El clima en Colombia**

El geógrafo Arthur Newell Strahler, define clima como “la suma de las condiciones atmosféricas para un lugar”, y se establece a partir de la recopilación y análisis de



observaciones de elementos tales como la temperatura, humedad, precipitación, nubosidad, radiación solar, entre otros [15].

Colombia se encuentra ubicada en la zona intertropical del planeta, razón por la cual no cuenta con variaciones estacionales. La duración del día y la noche es casi la misma y permanece constante durante todo el año, la temperatura promedio anual no presenta cambios relevantes año a año, y la diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura mínima en cada día, es más amplia en la región Andina. Colombia es un país rico en montañas. En el sur, hace presencia la cordillera de los Andes, la cual se divide en el macizo colombiano en tres cadenas montañosas denominadas: cordillera occidental, cordillera central y cordillera oriental, que recorren el territorio nacional de sur a norte en gran parte. Esta particularidad es de gran influencia en la caracterización de la temperatura, ya que las montañas impiden la incidencia uniforme de la radiación solar y la presión atmosférica sobre la superficie. También en el firmamento colombiano es común la acumulación de nubes, que reflejan los rayos solares y evaden un mayor incremento de la temperatura [15].

## **2.8 Clasificación climática**

La base principal para establecer la clasificación climática es la ubicación geográfica. El clima puede ser de altas latitudes, latitudes templadas o de la zona intertropical. Existen otros factores naturales que también contribuyen en la clasificación climática como la influencia marítima sobre los territorios costeros, la continentalidad y la altitud de un territorio.

Actualmente han sido desarrollados diferentes métodos para clasificar el clima de una región, de acuerdo a los fenómenos atmosféricos que estén presentes en ella. Richard Lang y Wilhelm Köppen implementaron cada uno su propia clasificación a partir de la precipitación anual y la temperatura media anual; Francisco José de

Caldas hizo lo propio únicamente considerando la variación de temperatura con respecto a la elevación sobre el nivel del mar, mientras que Leslie Holdrige desarrolló un método más complejo, teniendo en cuenta los factores ambientales mencionados anteriormente; entre otros [16].

Para efectos del trabajo, es necesario hacer énfasis en la clasificación climática ingenitada por Caldas, denominada pisos térmicos. Como se mencionó, con su aporte el científico logró caracterizar territorios según su altura sobre el nivel del mar, con sus respectivos rangos de temperatura y cualidades biofísicas de la siguiente manera:

El clima más frecuente del país es el cálido, se presenta entre los 0 y 800 metros sobre el nivel del mar, su temperatura es superior a los 24°C y a él pertenece gran parte de la región Caribe, la región de la Orinoquía y la región Amazónica, lo que corresponde a cerca del 80% del territorio nacional. La parte baja de las cordilleras representa un 10% de la superficie del país y posee un clima templado, en el que frecuentan temperaturas que van desde 18°C hasta 24°C y su altitud característica va desde 800 hasta 1800 metros sobre el nivel del mar. El clima frío tiene un rango de temperaturas entre 12°C y 18°C, propio de las zonas ubicadas entre 1800 y 2800 metros sobre el nivel del mar, característico principalmente de las altas montañas de la región andina, este clima cubre cerca del 8% del país. Las regiones de las tres principales cordilleras que se encuentran a una altitud entre 2800 y 3700 metros sobre el nivel del mar, son llamadas, de clima muy frío, y su rango de temperaturas está entre 12°C y 6°C. El ambiente extremadamente frío se extiende por las zonas de alta montaña situadas entre los 3700 y 4700 metros sobre el nivel del mar, y la temperatura propia está en un rango de 6°C y 1,5°C. Finalmente, se encuentran los nivales, el clima de las partes más altas de las montañas del país, y a su vez, el menos habitual de todos los pisos térmicos. Se caracteriza por ubicarse a una altura mayor a los 4500 metros sobre el nivel del mar, y frecuentar temperaturas inferiores a los 1,5°C.

**Tabla 5.** Pisos térmicos de Colombia.

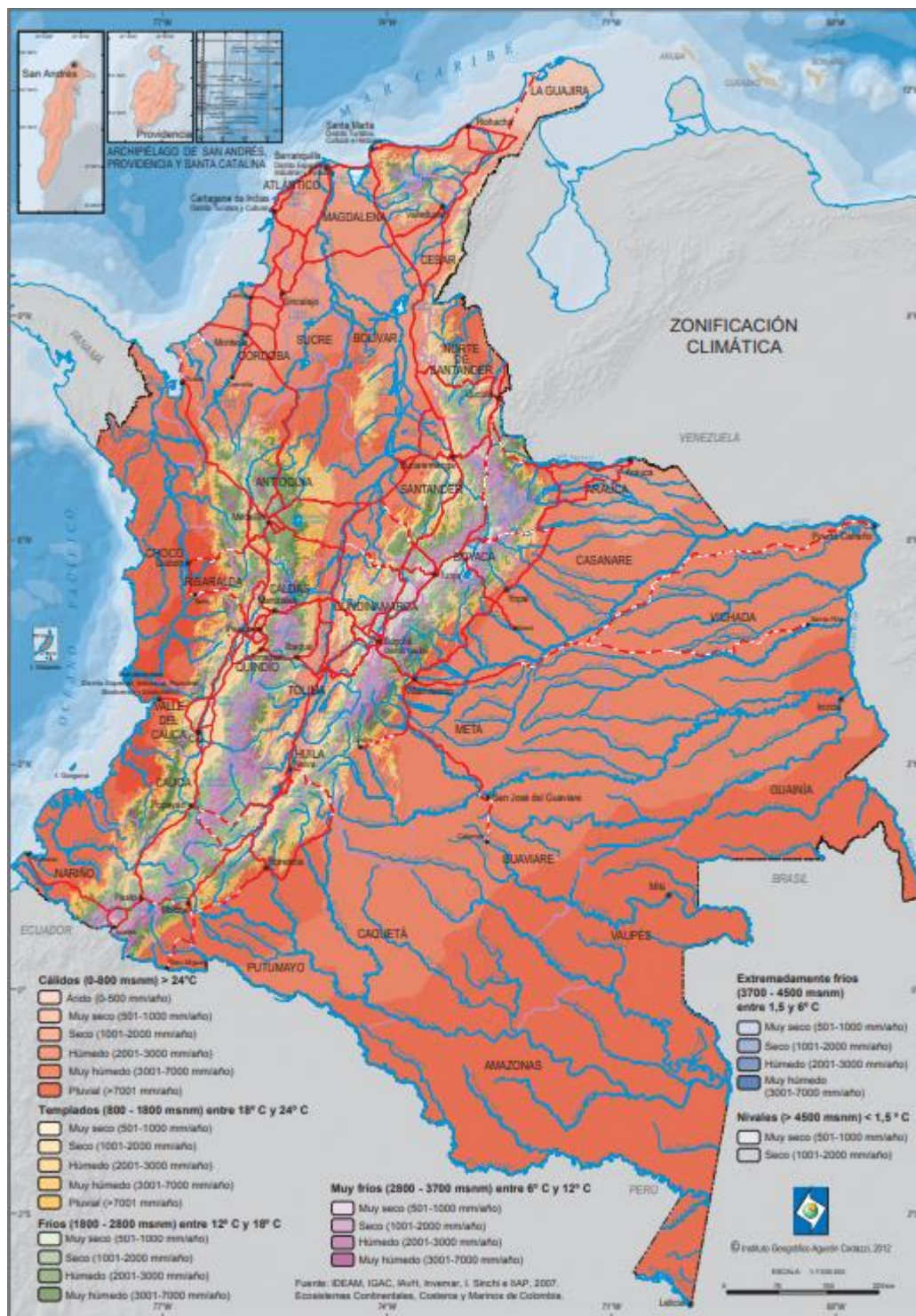
Piso térmico	Rango de elevación	Rango de temperaturas
Cálido	0 a 800	$T \geq 24$
Templado	800 a 1800	$24 > T \geq 18$
Frío	1800 a 2800	$18 > T \geq 12$
Muy frío	2800 a 3700	$12 > T \geq 6$
Extremadamente frío	3700 a 4500	$6 > T \geq 1,5$
Nivales	$> 4500$	$1,5 > T$

**Fuente:** Adaptado de [17].

Los climas mencionados anteriormente permanecen casi constates para todo Colombia, pero cabe destacar que en ciertas zonas es posible encontrar variaciones de estos rangos, como producto de la presencia de montañas y los vientos a los que se encuentran expuestos [15][16].

En la Figura 2, se ilustra la forma en que está distribuido el clima en el territorio colombiano de acuerdo con los pisos térmicos y la precipitación presente en cada uno de ellos.

**Figura 2.** *Mapa de distribución de pisos térmicos en Colombia.*



**Fuente:** [18].

### **3. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE CIUDADES REPRESENTATIVAS DE ALGUNOS PISOS TÉRMICOS**

En el capítulo anterior se hizo un recuento de los conceptos necesarios para poder entender y llevar a cabo el desarrollo de este proyecto, entre ellos están los pisos térmicos, una de las formas en que se puede clasificar el clima, que encaja de muy buena manera con el territorio colombiano, pues este, a diferencia de los países del sur y del norte del planeta que cuentan estaciones climáticas, se caracteriza por poseer gran variedad de climas que pueden ser experimentados al desplazarse a través de la extensión del país, durante cualquier época del año.

Han sido fijados algunos criterios que deben ser considerados para poder seleccionar de manera adecuada las ciudades que deben ser tenidas en cuenta para obtener resultados apropiados. Se ha determinado que la población en una localidad es un parámetro de gran importancia, pues entre más habitantes tenga una ciudad, mayor será la demanda de equipos acondicionadores de aire, si se compara con otra que tenga condiciones climáticas similares y menor población.

En Colombia, la entidad encargada de la recolección, procesamiento, análisis y divulgación de las estadísticas oficiales es el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el cual cuenta en su base de datos con la proyección de población municipal de cada ciudad del país desde el año 2000 hasta el año 2020.

De acuerdo con este registro se han seleccionado y clasificado las veinte ciudades con más habitantes del país, según su clima, teniendo en cuenta la altura sobre el nivel del mar a la que se encuentra cada territorio. La altitud de cada ciudad se determina a partir de la ubicación de las estaciones climatológicas dispuestas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en las diferentes localidades.

**Tabla 6.** Ciudades más pobladas de Colombia y su clima.

	Departamento	Ciudad	Número de habitantes	Altitud media m.s.n.m	Piso térmico
1	Cundinamarca	Bogotá	8.281.030	2925	Muy frío
2	Antioquia	Medellín	2.549.537	1490	Templado
3	Valle del Cauca	Cali	2.470.747	996	Templado
4	Atlántico	Barranquilla	1.236.489	24	Cálido
5	Bolívar	Cartagena	1.047.321	14	Cálido
6	Atlántico	Soledad	683.486	14	Cálido
7	Norte de Santander	Cúcuta	675.008	313	Cálido
8	Tolima	Ibagué	574.573	1168	Templado
9	Cundinamarca	Soacha	556.268	2554	Frío
10	Santander	Bucaramanga	528.694	970	Templado
11	Meta	Villavicencio	527.668	444	Cálido
12	Magdalena	Santa Marta	515.556	18	Cálido
13	Cesar	Valledupar	493.342	148	Cálido
14	Risaralda	Pereira	478.931	1342	Templado
15	Córdoba	Montería	466.191	11	Cálido
16	Caldas	Manizales	401.448	2146	Frío
17	Huila	Neiva	349.030	442	Cálido
18	Quindío	Armenia	302.724	1386	Templado
19	La Guajira	Rioacha	296.047	3	Cálido
20	Cauca	Popayán	286.953	1750	Templado

**Fuente:** [19]; IDEAM.

En las primeras posiciones de la Tabla 6, se encuentran las ciudades de Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla y Cartagena; siendo la primera la capital, y las restantes son consideradas las ciudades más importantes del país, debido principalmente a su cantidad poblacional, representación histórica para la nación, desarrollo industrial, riqueza cultural, oferta turística, entre otros. La mayor parte de la población en Colombia se concentra principalmente en las capitales departamentales, como se demuestra anteriormente, exceptuando a Soledad y Soacha, que particularmente se encuentran localizadas adyacentes a Barranquilla y Bogotá respectivamente. Es de resaltar que el 50% de las localidades

mencionadas poseen un clima cálido, siete tienen un clima templado, y de las tres restantes, Manizales y Soacha están en el piso térmico frío, mientras que la capital del país que está ubicada a mayor altura sobre el nivel del mar corresponde al clima muy frío.

Los climas cálidos y templados son los más frecuentes en el país ya que se dan en el 90% del territorio nacional, razón por la cual, las ciudades pertenecientes a estos pisos térmicos se consideran de gran relevancia al momento caracterizar el clima de Colombia con la finalidad de implementar la norma ISO 16358-1. Además, es fundamental tener en cuenta que las temperaturas medias que se frecuentan en los climas frío y de altitud superior, son muy bajas para considerar necesario el uso de equipos acondicionadores de aire cotidianamente.

Observando lo anterior, se ha realizado una selección más concreta de ciudades representativas de algunos pisos térmicos. Debido a su abundante participación en el territorio colombiano y a sus rangos de temperatura media del aire, se toman en consideración únicamente ciudades pertenecientes a los climas cálido y templado; estas son las razones principales por las que Bogotá, siendo la urbe más habitada, y a su vez, la capital del país ha dejado de ser tenida en cuenta durante el desarrollo del trabajo.

Con el objetivo de encontrar muestras que abarquen el rango de temperaturas correspondiente de cada clima, se ha optado por elegir localidades de diversas altitudes, y también, que hagan parte de diferentes regiones del terreno nacional. Se ha considerado que las ciudades que representan algunos pisos térmicos en Colombia son las siguientes:



**Tabla 7.** Ciudades representativas de algunos pisos térmicos colombianos.

	Departamento	Ciudad	Número de habitantes	Altitud media m.s.n.m	Piso térmico
1	Antioquia	Medellín	2.549.537	1490	Templado
2	Valle del Cauca	Cali	2.470.747	996	Templado
3	Atlántico	Barranquilla	1.236.489	24	Cálido
4	Norte de Santander	Cúcuta	675.008	313	Cálido
5	Santander	Bucaramanga	528.694	970	Templado
6	Meta	Villavicencio	527.668	444	Cálido
7	Risaralda	Pereira	478.931	1342	Templado

**Fuente:** Autor.

Si se ubican cada una de las ciudades de la tabla 6, en el mapa correspondiente a la Figura 2, es factible resaltar que estos sitios se encuentran distribuidos paulatinamente desde el norte hasta el centro del país, y a su vez de occidente a oriente, exceptuando los territorios conocidos como los llanos orientales y la Amazonía colombiana, pues estas regiones, no son de gran relevancia para el propósito de este proyecto teniendo en cuenta los criterios de selección ya mencionados, puesto que al sumar el número de habitantes de la región de la Amazonía y la Orinoquía, no representan más de un 5,8% del total de la población nacional [19].

Ahora bien, luego de haber determinado cuales son las ciudades que serán centro del estudio, es pertinente tener acceso a una base de datos en la que se encuentren registrados algunos valores medidos previamente del comportamiento de la temperatura en cada una de las poblaciones.

### **3.1 Procesamiento de datos de temperatura a largo plazo**

Como ya se ha mencionado, para cumplir con todos los objetivos del proyecto, es necesario construir una tabla similar a la tabla 3, pero con unas características que

le permitan ser usada en Colombia. Para conseguirlo, es preciso acceder a un registro histórico de datos de temperaturas locales, que serán indispensables para ejecutar un tratamiento estadístico con el cual se busca encontrar una función de distribución de temperaturas exteriores, que permitirá cumplir con la finalidad del proyecto apropiadamente (el ítem 3.2 está dedicado al desarrollo de este proceso).

Diferentes autores, han llevado a cabo algunos procedimientos para llegar a resultados similares al requerido actualmente, en los cuales sugieren el número de datos de temperatura que deben ser tenidos en cuenta para obtener un resultado óptimo.

Erbs en su estudio “*ESTIMATION OF DEGREE-DAYS AND AMBIENT TEMPERATURE BIN DATA FROM MONTHLY-AVERAGE TEMPERATURE* [20]” en promedio tuvo en cuenta 22 años de datos de temperatura hora a hora en 9 ciudades de Estados Unidos, de los que calculó su función de distribución mensual, necesaria para el cálculo del método conocido como Degree-Day. Por su parte, Coskun [21], afirma que no existe un estudio que muestre una distribución de probabilidad en la que se tenga a la temperatura exterior como parámetro, y propone un modelo matemático para calcular tal función de distribución en 4 ciudades de Turquía, el cual construye tras disponer de datos de temperatura hora a hora de 31 años previos, esto con el objetivo de determinar cargas de enfriamiento y calentamiento con respecto a diferentes temperaturas interiores y exteriores.

En [19] y [20], los datos del clima fueron obtenidos del Servicio Nacional Climático Estadounidense y del Servicio Meteorológico del Estado Turco respectivamente. Del párrafo anterior, es notable que la información brindada por cada una de estas entidades corresponde a un significativo periodo preliminar al estudio. En Colombia, la organización encargada del estudio del clima es el Instituto de

Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), a la cual se solicitan los respectivos datos y resulta relevante destacar que algunos de estos registros carecen de confiabilidad. También se resalta por parte del IDEAM al momento de emitir el mensaje de respuesta, que declaran no hacerse responsables del uso que se le vaya a dar a la información adquirida, y de los resultados conseguidos. Al revisar los datos recibidos, se confirma la incongruencia indicada por el IDEAM, sin embargo, en el periodo de enero de 2018 a diciembre de 2018, no se presenta inconveniente alguno.

De la Tabla 8 a la Tabla 13 serán expuestos los datos de temperatura y la frecuencia en horas con que se presentaron durante el año 2018 en cada una de las ciudades en estudio. Cabe resaltar que, durante este periodo, las estaciones encargadas de tomar las mediciones de temperatura estuvieron durante algunas horas sin funcionamiento, presuntamente por algunas fallas o por razones de mantenimiento, hechos por los que en ninguna de las 7 localidades se tiene registro de mediciones realizadas durante las 8760 horas del año.

### 3.1.1 Medellín

**Tabla 8.** Frecuencia de temperatura anual en Medellín.

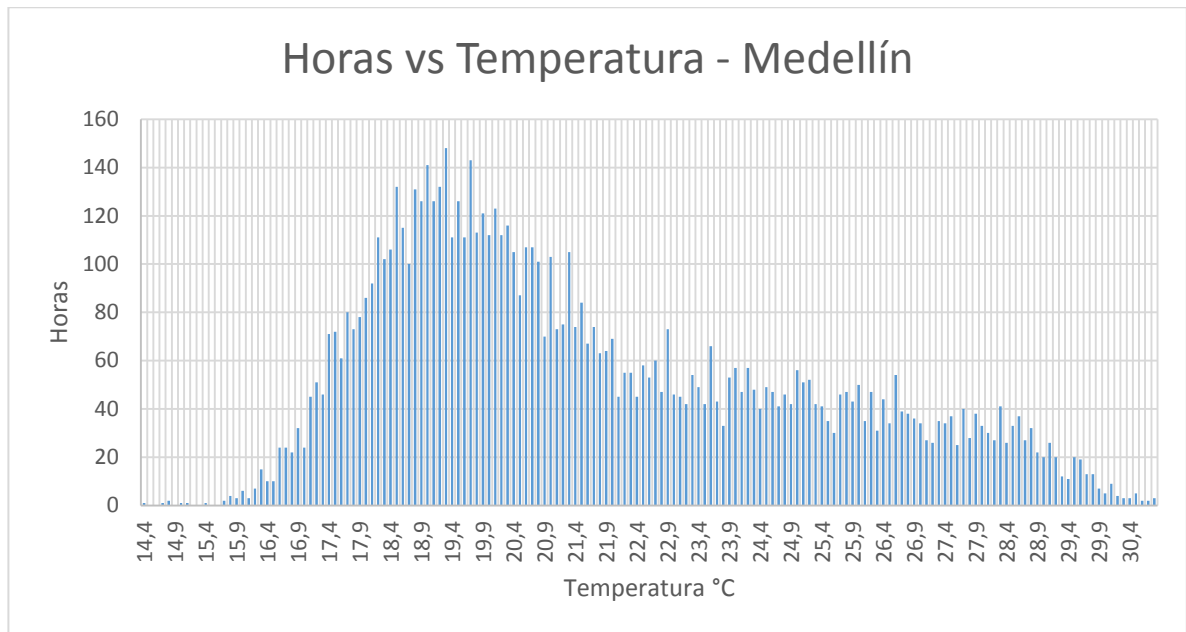
Ciudad									
Medellín									
Estación					Altitud [m]				
Olaya Herrera – AUT [27015330]					1490				
Latitud					Longitud				
6,22061111					-75,58898056				
Período de muestra					Total de datos recolectados				
1/Ene/18 - 31/Dic/18					8152				
Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia
14,4	1	17,7	80	21	103	24,3	48	27,6	25
14,5	0	17,8	73	21,1	73	24,4	40	27,7	40
14,6	0	17,9	78	21,2	75	24,5	49	27,8	28
14,7	1	18	86	21,3	105	24,6	47	27,9	38
14,8	2	18,1	92	21,4	74	24,7	41	28	33
14,9	0	18,2	111	21,5	84	24,8	46	28,1	30
15	1	18,3	102	21,6	67	24,9	42	28,2	27
15,1	1	18,4	106	21,7	74	25	56	28,3	41
15,2	0	18,5	132	21,8	63	25,1	51	28,4	26
15,3	0	18,6	115	21,9	64	25,2	52	28,5	33
15,4	1	18,7	100	22	69	25,3	42	28,6	37
15,5	0	18,8	131	22,1	45	25,4	41	28,7	27
15,6	0	18,9	126	22,2	55	25,5	35	28,8	32
15,7	2	19	141	22,3	55	25,6	30	28,9	22
15,8	4	19,1	126	22,4	45	25,7	46	29	20
15,9	3	19,2	132	22,5	58	25,8	47	29,1	26
16	6	19,3	148	22,6	53	25,9	43	29,2	20
16,1	3	19,4	111	22,7	60	26	50	29,3	12
16,2	7	19,5	126	22,8	47	26,1	35	29,4	11
16,3	15	19,6	111	22,9	73	26,2	47	29,5	20
16,4	10	19,7	143	23	46	26,3	31	29,6	19
16,5	10	19,8	113	23,1	45	26,4	44	29,7	13
16,6	24	19,9	121	23,2	42	26,5	34	29,8	13
16,7	24	20	112	23,3	54	26,6	54	29,9	7
16,8	22	20,1	123	23,4	49	26,7	39	30	5
16,9	32	20,2	112	23,5	42	26,8	38	30,1	9
17	24	20,3	116	23,6	66	26,9	36	30,2	4
17,1	45	20,4	105	23,7	43	27	34	30,3	3
17,2	51	20,5	87	23,8	33	27,1	27	30,4	3
17,3	46	20,6	107	23,9	53	27,2	26	30,5	5
17,4	71	20,7	107	24	57	27,3	35	30,6	2
17,5	72	20,8	101	24,1	47	27,4	34	30,7	2
17,6	61	20,9	70	24,2	57	27,5	37	30,8	3
								Suma total	8152

**Fuente:** Autor.

En la ciudad de Medellín se registraron un 93% de los datos posibles, la temperatura mínima presentada en el año 2018 fue de 14,4°C mientras que la máxima fue de 30,8°C durante tres horas. La temperatura del aire correspondiente

a 19,3°C fue la más frecuente del año, pues se registró con una frecuencia de 148 horas; mientras que el promedio de temperatura anual fue de 21,7°C.

**Figura 3.** Gráfica de horas vs temperatura en la ciudad de Medellín en el año 2018.



**Fuente:** Autor.

Medellín es la localidad con la temperatura mínima más baja. Esto no quiere decir que sea la del clima más frío entre todas las ciudades estudiadas, pues esta temperatura solo se ha presentado en una ocasión, demostrando que es un acontecimiento muy inusual, tanto así que hay algunas magnitudes superiores a la mínima que no han sido evidenciadas durante el periodo de estudio. A partir de 15,7°C se hace notable un aumento continuo en la frecuencia de las temperaturas hasta alcanzar un pico de 148 repeticiones a los 19,3°C, posteriormente, la frecuencia empieza a disminuir de forma apacible hasta la frecuencia del valor máximo medido en la estación (Ver Figura 3).

### 3.1.2 Cali

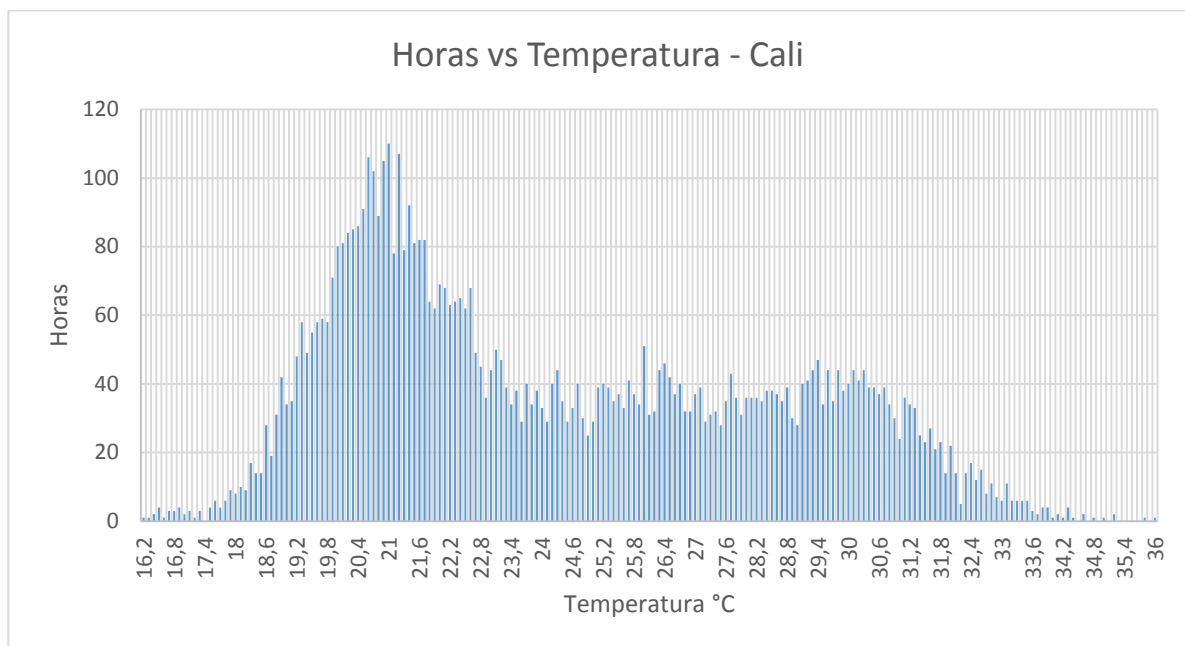
**Tabla 9.** Frecuencia de temperatura anual en Cali.

Ciudad									
Cali									
Estación					Altitud [m]				
UNIVERSIDAD DEL VALLE - AUT [26055120]					996				
Latitud					Longitud				
3,378					-76,53388889				
Período de muestra					Total de datos recolectados				
1/Ene/18 - 31/Dic/18					6530				
Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia
16,2	1	20,2	84	24,2	40	28,2	36	32,2	5
16,3	1	20,3	85	24,3	44	28,3	35	32,3	14
16,4	2	20,4	86	24,4	35	28,4	38	32,4	17
16,5	4	20,5	91	24,5	29	28,5	38	32,5	12
16,6	1	20,6	106	24,6	33	28,6	37	32,6	15
16,7	3	20,7	102	24,7	40	28,7	35	32,7	8
16,8	3	20,8	89	24,8	30	28,8	39	32,8	11
16,9	4	20,9	105	24,9	25	28,9	30	32,9	7
17	2	21	110	25	29	29	28	33	6
17,1	3	21,1	78	25,1	39	29,1	40	33,1	11
17,2	1	21,2	107	25,2	40	29,2	41	33,2	6
17,3	3	21,3	79	25,3	39	29,3	44	33,3	6
17,4	0	21,4	92	25,4	35	29,4	47	33,4	6
17,5	4	21,5	81	25,5	37	29,5	34	33,5	6
17,6	6	21,6	82	25,6	33	29,6	44	33,6	3
17,7	4	21,7	82	25,7	41	29,7	35	33,7	2
17,8	6	21,8	64	25,8	37	29,8	44	33,8	4
17,9	9	21,9	62	25,9	34	29,9	38	33,9	4
18	8	22	69	26	51	30	40	34	1
18,1	10	22,1	68	26,1	31	30,1	44	34,1	2
18,2	9	22,2	63	26,2	32	30,2	41	34,2	1
18,3	17	22,3	64	26,3	44	30,3	44	34,3	4
18,4	14	22,4	65	26,4	46	30,4	39	34,4	1
18,5	14	22,5	62	26,5	42	30,5	39	34,5	0
18,6	28	22,6	68	26,6	37	30,6	37	34,6	2
18,7	19	22,7	49	26,7	40	30,7	39	34,7	0
18,8	31	22,8	45	26,8	32	30,8	34	34,8	1
18,9	42	22,9	36	26,9	32	30,9	30	34,9	0
19	34	23	44	27	37	31	24	35	1
19,1	35	23,1	50	27,1	39	31,1	36	35,1	0
19,2	48	23,2	47	27,2	29	31,2	34	35,2	2
19,3	58	23,3	39	27,3	31	31,3	33	35,3	0
19,4	49	23,4	34	27,4	32	31,4	25	35,4	0
19,5	55	23,5	38	27,5	28	31,5	23	35,5	0
19,6	58	23,6	29	27,6	35	31,6	27	35,6	0
19,7	59	23,7	40	27,7	43	31,7	21	35,7	0
19,8	58	23,8	34	27,8	36	31,8	23	35,8	1
19,9	71	23,9	38	27,9	31	31,9	14	35,9	0
20	80	24	33	28	36	32	22	36	1
20,1	81	24,1	29	28,1	36	32,1	14	Suma total	6530

**Fuente:** Autor.

Es importante resaltar que, de los registros de las estaciones meteorológicas usadas en este trabajo, la de Cali fue la menos eficiente en la toma de datos, pues tan solo logró consignar el 74,5% de la información total posible, sin embargo, se refleja que la ciudad cuenta con el rango de temperaturas más amplio en comparación con los otros seis territorios, ya que cuenta con una temperatura mínima de 16,2°C y una temperatura máxima de 36°C. El promedio de temperatura en el año 2018 es de 24,4°C, y la que más se ha frecuentado es la temperatura de 21°C en un total de 110 horas.

**Figura 4.** Gráfica de horas vs temperatura en la ciudad de Cali en el año 2018.



**Fuente:** Autor.

En la Figura 4 es posible observar el rápido aumento en la frecuencia de los datos de temperatura hasta alcanzar el pico de la curva, que si se compara con la frecuencia correspondiente al punto máximo presente desde la figura 3 hasta la figura 9, se encuentra que la perteneciente a Cali tiene el menor valor, lo que se debe principalmente a la ineficiencia en las mediciones de temperatura en comparación con las otras estaciones, y al amplio rango de valores plasmados

sobre el eje horizontal de la figura anterior; además, luego del inicio del descenso en la frecuencia, la gráfica tiende a no presentar grandes variaciones entre los 23,4°C y 30,3°C. Posteriormente, la curva cae.

### 3.1.3 Barranquilla

**Tabla 10.** Frecuencia de temperatura anual en Barranquilla.

Ciudad Barranquilla									
Estación AEROPUERTO E. CORTISOZ - AUT [29045190]					Altitud [m] 14				
Latitud 10,91777778					Longitud -74,77972222				
Periodo de muestra 1/Ene/18 - 31/Dic/18					Total de datos recolectados 01				
Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia
21,6	2	24,4	61	27,2	164	30	42	32,8	28
21,7	0	24,5	68	27,3	155	30,1	62	32,9	22
21,8	0	24,6	66	27,4	154	30,2	55	33	28
21,9	1	24,7	73	27,5	131	30,3	46	33,1	20
22	0	24,8	72	27,6	117	30,4	57	33,2	20
22,1	1	24,9	89	27,7	130	30,5	64	33,3	17
22,2	1	25	98	27,8	112	30,6	56	33,4	15
22,3	0	25,1	100	27,9	109	30,7	56	33,5	6
22,4	0	25,2	91	28	100	30,8	52	33,6	11
22,5	2	25,3	107	28,1	91	30,9	67	33,7	13
22,6	2	25,4	120	28,2	76	31	49	33,8	12
22,7	1	25,5	94	28,3	70	31,1	62	33,9	3
22,8	3	25,6	114	28,4	54	31,2	72	34	4
22,9	3	25,7	127	28,5	56	31,3	55	34,1	6
23	3	25,8	148	28,6	71	31,4	53	34,2	4
23,1	3	25,9	160	28,7	66	31,5	62	34,3	2
23,2	2	26	142	28,8	48	31,6	54	34,4	2
23,3	7	26,1	135	28,9	50	31,7	50	34,5	4
23,4	10	26,2	130	29	52	31,8	54	34,6	0
23,5	8	26,3	138	29,1	63	31,9	48	34,7	2
23,6	7	26,4	130	29,2	50	32	48	34,8	3
23,7	17	26,5	147	29,3	57	32,1	62	34,9	1
23,8	20	26,6	164	29,4	57	32,2	48	35	2
23,9	24	26,7	196	29,5	59	32,3	40	35,1	1
24	31	26,8	150	29,6	63	32,4	48	35,2	2
24,1	38	26,9	182	29,7	54	32,5	34	35,3	1
24,2	46	27	166	29,8	55	32,6	38	35,4	0
24,3	52	27,1	171	29,9	69	32,7	33	35,5	2
								Suma total	7754

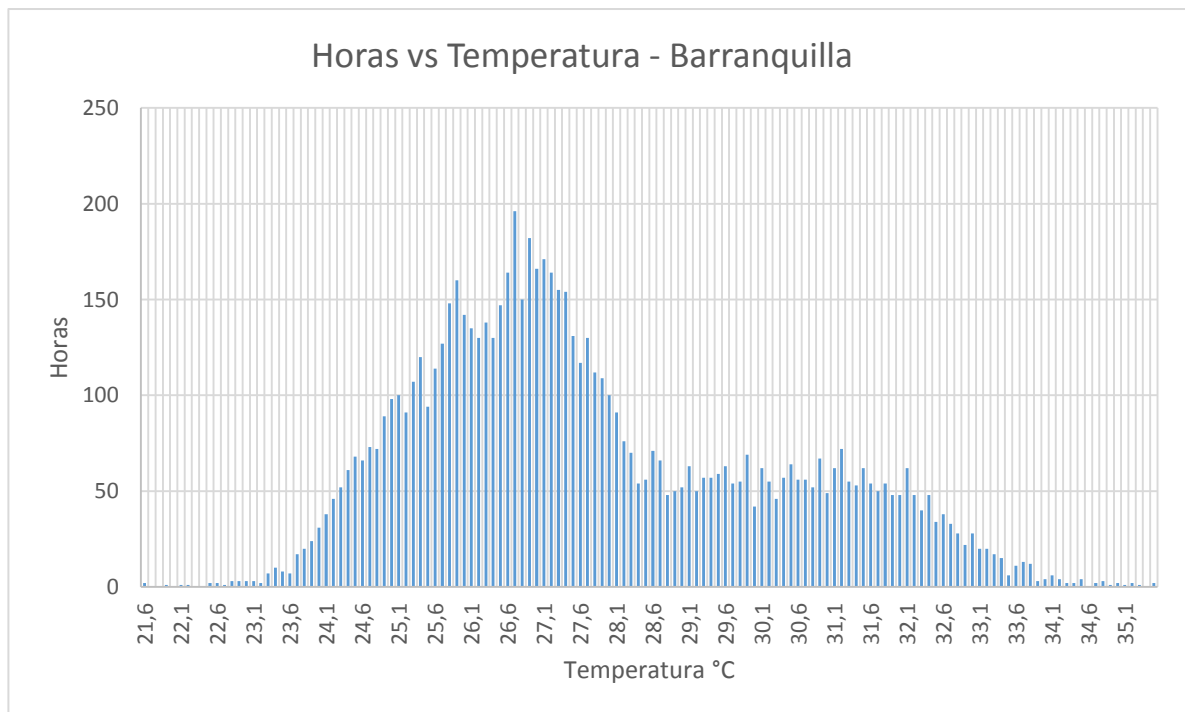
**Fuente:** Autor

Antes de hacer referencia a la información plasmada en la Tabla 10, es pertinente mencionar que el aeropuerto Ernesto Cortissoz donde se halla ubicada la estación que proporcionó los datos anteriores, se encuentra en el municipio de Soledad, a 7



km del centro de la ciudad de Barranquilla [22]. Lo anterior no representa algún inconveniente en los resultados del estudio, puesto que las poblaciones se encuentran lo suficientemente cerca como para no tener grandes variaciones desde el punto de vista climático y de relieve. No está de más añadir que se ha decidido hacer uso de los datos recogidos en el aeropuerto, porque otras estaciones situadas en Barranquilla contaban con gran insuficiencia de datos. La temperatura media registrada en el año 2018 es de 27,8°C, mientras que la temperatura máxima y mínima corresponde a 35,5°C y 21,1°C respectivamente. La estación ha logrado recolectar datos durante 7754 horas, lo que corresponde a un 88,5% del total posible. Durante 196 horas se ha medido una temperatura de 26,7°C, que corresponde al valor más usual.

**Figura 5.** Gráfica de horas vs temperatura en la ciudad de Barranquilla en el año 2018.



**Fuente:** Autor.

La temperatura mínima en Barranquilla se ha frecuentado únicamente en dos ocasiones, y hasta los 23,6°C no se aprecia un gran aumento en el número de horas que se repite la magnitud en cuestión. Luego de 23,7°C se presenta un

aumento continuo hasta alcanzar un valor de 196 repeticiones antes de visualizar el decrecimiento de la curva a los 26,7°C. Al inicio la inclinación es pronunciada, pero se atenúa luego de los 28,4°C, permaneciendo así hasta el punto de que señala 31,8°C y posteriormente alcanzar la temperatura máxima.

### 3.1.4 Cúcuta

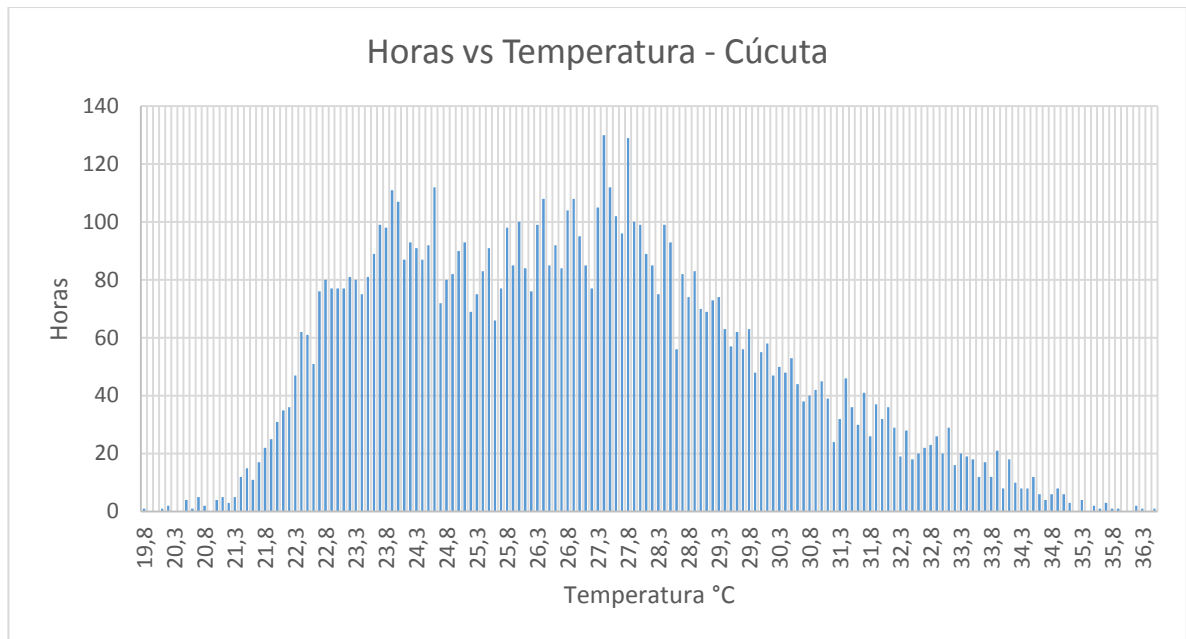
**Tabla 11.** Frecuencia de temperatura anual en Cúcuta.

Ciudad									
Cúcuta									
Estación					Altitud [m]				
AEROPUERTO CAMILO DAZA - AUT [16015501]					313				
Latitud					Longitud				
7,93161111					-72,51125				
Periodo de muestra					Total de datos recolectados				
1/Ene/18 - 31/Dic/18					8111				
Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia
19,8	1	23,2	81	26,6	92	30	55	33,4	19
19,9	0	23,3	80	26,7	84	30,1	58	33,5	18
20	0	23,4	75	26,8	104	30,2	47	33,6	12
20,1	1	23,5	81	26,9	108	30,3	50	33,7	17
20,2	2	23,6	89	27	95	30,4	48	33,8	12
20,3	0	23,7	99	27,1	85	30,5	53	33,9	21
20,4	0	23,8	98	27,2	77	30,6	44	34	8
20,5	4	23,9	111	27,3	105	30,7	38	34,1	18
20,6	1	24	107	27,4	130	30,8	40	34,2	10
20,7	5	24,1	87	27,5	112	30,9	42	34,3	8
20,8	2	24,2	93	27,6	102	31	45	34,4	8
20,9	0	24,3	91	27,7	96	31,1	39	34,5	12
21	4	24,4	87	27,8	129	31,2	24	34,6	6
21,1	5	24,5	92	27,9	100	31,3	32	34,7	4
21,2	3	24,6	112	28	99	31,4	46	34,8	6
21,3	5	24,7	72	28,1	89	31,5	36	34,9	8
21,4	12	24,8	80	28,2	85	31,6	30	35	6
21,5	15	24,9	82	28,3	75	31,7	41	35,1	3
21,6	11	25	90	28,4	99	31,8	26	35,2	0
21,7	17	25,1	93	28,5	93	31,9	37	35,3	4
21,8	22	25,2	69	28,6	56	32	32	35,4	0
21,9	25	25,3	75	28,7	82	32,1	36	35,5	2
22	31	25,4	83	28,8	74	32,2	29	35,6	1
22,1	35	25,5	91	28,9	83	32,3	19	35,7	3
22,2	36	25,6	66	29	70	32,4	28	35,8	1
22,3	47	25,7	77	29,1	69	32,5	18	35,9	1
22,4	62	25,8	98	29,2	73	32,6	20	36	0
22,5	61	25,9	85	29,3	74	32,7	22	36,1	0
22,6	51	26	100	29,4	63	32,8	23	36,2	2
22,7	76	26,1	84	29,5	57	32,9	26	36,3	1
22,8	80	26,2	76	29,6	62	33	20	36,4	0
22,9	77	26,3	99	29,7	56	33,1	29	36,5	1
23	77	26,4	108	29,8	63	33,2	16	Suma total	8111
23,1	77	26,5	85	29,9	48	33,3	20		

**Fuente:** Autor.

Se tiene que de los 8111 datos registrados en la tabla 10, la temperatura de 27,4°C se ha medido en 130 ocasiones, siendo la más repetida. La temperatura más elevada concierne al valor de 36,5°C, y la mínima, a una temperatura de 19,8°C. El promedio de temperatura durante el periodo de muestra es de 26,9°C.

**Figura 6.** Gráfica de horas vs temperatura en la ciudad de Cúcuta en el año 2018.



**Fuente:** Autor.

En la curva de la Figura 6, se observa como la frecuencia de las temperaturas presenta un incremento considerable desde el valor de 21,4°C hasta el punto de 22,8°C, luego de allí, entre unos leves aumentos y disminuciones en la frecuencia, es notable como se presenta una gran concentración de datos hasta la temperatura de 28,9°C, incluyendo el pico en este intervalo. Luego de allí, la gráfica manifiesta un decrecimiento continuo hasta el máximo valor de temperatura medido en la ciudad de Cúcuta.

### 3.1.5 Bucaramanga

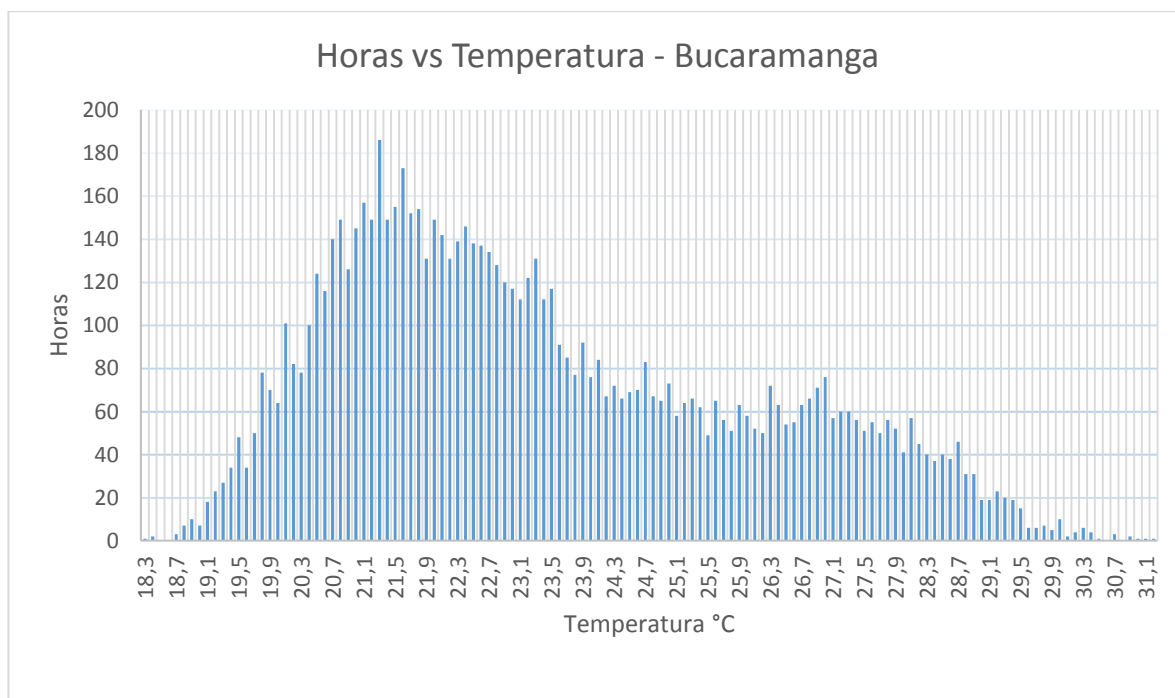
**Tabla 12.** Frecuencia de temperatura anual en Bucaramanga.

Ciudad									
Bucaramanga									
Estación					Altitud [m]				
NEOMUNDO - AUT [23195230]					970				
Latitud					Longitud				
7,10261111					-73,10730556				
Período de muestra					Total de datos recolectados				
1/Ene/18 - 31/Dic/18					8546				
Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia
18,3	1	20,9	126	23,5	117	26,1	52	28,7	46
18,4	2	21	145	23,6	91	26,2	50	28,8	31
18,5	0	21,1	157	23,7	85	26,3	72	28,9	31
18,6	0	21,2	149	23,8	77	26,4	63	29	19
18,7	3	21,3	186	23,9	92	26,5	54	29,1	19
18,8	7	21,4	149	24	76	26,6	55	29,2	23
18,9	10	21,5	155	24,1	84	26,7	63	29,3	20
19	7	21,6	173	24,2	67	26,8	66	29,4	19
19,1	18	21,7	152	24,3	72	26,9	71	29,5	15
19,2	23	21,8	154	24,4	66	27	76	29,6	6
19,3	27	21,9	131	24,5	69	27,1	57	29,7	6
19,4	34	22	149	24,6	70	27,2	60	29,8	7
19,5	48	22,1	142	24,7	83	27,3	60	29,9	5
19,6	34	22,2	131	24,8	67	27,4	56	30	10
19,7	50	22,3	139	24,9	65	27,5	51	30,1	2
19,8	78	22,4	146	25	73	27,6	55	30,2	4
19,9	70	22,5	138	25,1	58	27,7	50	30,3	6
20	64	22,6	137	25,2	64	27,8	56	30,4	4
20,1	101	22,7	134	25,3	66	27,9	52	30,5	1
20,2	82	22,8	128	25,4	62	28	41	30,6	0
20,3	78	22,9	120	25,5	49	28,1	57	30,7	3
20,4	100	23	117	25,6	65	28,2	45	30,8	0
20,5	124	23,1	112	25,7	56	28,3	40	30,9	2
20,6	116	23,2	122	25,8	51	28,4	37	31	1
20,7	140	23,3	131	25,9	63	28,5	40	31,1	1
20,8	149	23,4	112	26	58	28,6	38	31,2	1
								Suma total	8546

**Fuente:** Autor.

De forma opuesta a como ocurre en Cali, Bucaramanga cuenta con el rango de temperaturas más estrecho de todas las ciudades tenidas en cuenta en el desarrollo de este trabajo, lo cual no quiere decir que han sido tabulados pocos datos, pues entre un límite inferior de 18,3°C y uno superior de 31,2°C, se han registrado 8542 mediciones, que corresponden a un 97,5% del total de los registros posibles. La temperatura más común es de 21,3°C y se ha repetido durante 186 horas. El promedio de temperatura en 2018 es de 23,4°C.

**Figura 7.** Gráfica de horas vs temperatura en la ciudad de Bucaramanga en el año 2018.



**Fuente:** Autor.

Al graficar los datos arrojados por la estación climática Neomundo se refleja un temprano crecimiento en el comportamiento de la curva hasta alcanzar la frecuencia de 186 correspondiente a una temperatura 21,3°C. Como es de esperarse, luego del pico, se refleja un decrecimiento, inicialmente leve hasta indicar la temperatura de 26,9°C, por lo que se detecta la mayor acumulación de datos en este intervalo, que corresponde a la zona media de la Figura 7. Finalmente, la frecuencia disminuye de tal manera que señala un valor de uno para la temperatura máxima registrada.

### 3.1.6 Villavicencio

**Tabla 13.** Frecuencia de temperatura anual en Villavicencio.

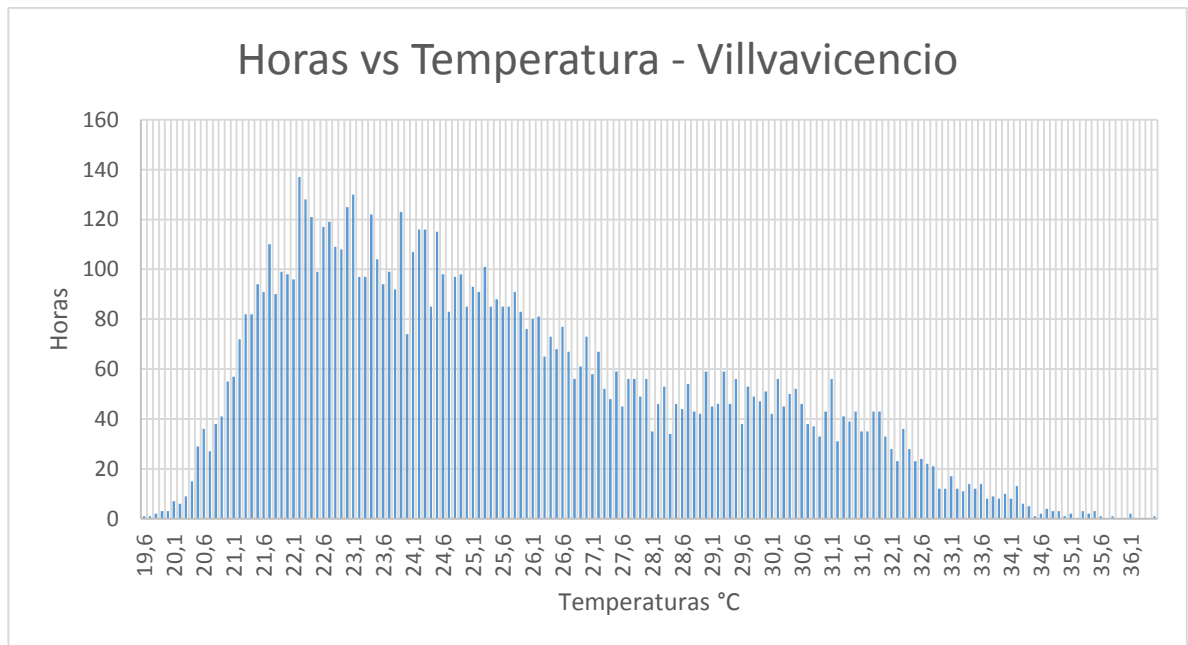
Ciudad									
Villavicencio									
Estación					Altitud [m]				
ICA VILLAVICENCIO - AUT [35035100]					444				
Latitud					Longitud				
4,13738889					-73,625				
Periodo de muestra					Total de datos recolectados				
1/Ene/18 - 31/Dic/18					8656				
Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia
19,6	1	23	125	26,4	73	29,8	49	33,2	12
19,7	1	23,1	130	26,5	68	29,9	47	33,3	11
19,8	2	23,2	97	26,6	77	30	51	33,4	14
19,9	3	23,3	97	26,7	67	30,1	42	33,5	12
20	3	23,4	122	26,8	56	30,2	56	33,6	14
20,1	7	23,5	104	26,9	61	30,3	45	33,7	8
20,2	6	23,6	94	27	73	30,4	50	33,8	9
20,3	9	23,7	99	27,1	58	30,5	52	33,9	8
20,4	15	23,8	92	27,2	67	30,6	46	34	10
20,5	29	23,9	123	27,3	52	30,7	38	34,1	8
20,6	36	24	74	27,4	48	30,8	37	34,2	13
20,7	27	24,1	107	27,5	59	30,9	33	34,3	6
20,8	38	24,2	116	27,6	45	31	43	34,4	5
20,9	41	24,3	116	27,7	56	31,1	56	34,5	1
21	55	24,4	85	27,8	56	31,2	31	34,6	2
21,1	57	24,5	115	27,9	49	31,3	41	34,7	4
21,2	72	24,6	98	28	56	31,4	39	34,8	3
21,3	82	24,7	83	28,1	35	31,5	43	34,9	3
21,4	82	24,8	97	28,2	46	31,6	35	35	1
21,5	94	24,9	98	28,3	53	31,7	35	35,1	2
21,6	91	25	85	28,4	34	31,8	43	35,2	0
21,7	110	25,1	93	28,5	46	31,9	43	35,3	3
21,8	90	25,2	91	28,6	44	32	33	35,4	2
21,9	99	25,3	101	28,7	54	32,1	28	35,5	3
22	98	25,4	85	28,8	43	32,2	23	35,6	1
22,1	96	25,5	88	28,9	42	32,3	36	35,7	0
22,2	137	25,6	85	29	59	32,4	28	35,8	1
22,3	128	25,7	85	29,1	45	32,5	23	35,9	0
22,4	121	25,8	91	29,2	46	32,6	24	36	0
22,5	99	25,9	83	29,3	59	32,7	22	36,1	2
22,6	117	26	76	29,4	46	32,8	21	36,2	0
22,7	119	26,1	80	29,5	56	32,9	12	36,3	0
22,8	109	26,2	81	29,6	38	33	12	36,4	0
22,9	108	26,3	65	29,7	53	33,1	17	36,5	1
								Suma total	8656

**Fuente:** Autor.

Junto a Cúcuta, Villavicencio comparte el registro de temperatura más elevada, que equivale a 36,5°C, por otro lado, la temperatura mínima es de 19,6°C.

Además, la estación ICA Villavicencio cuenta con la mayor eficiencia en la medición de datos de temperatura hora a hora durante el periodo de muestra, que corresponde a un registro de 98,8% del total de las consignaciones que se pueden realizar. En 137 ocasiones el medidor ha señalado una 22,2°C, y el promedio de temperatura del año 2018 equivale a 25,7°C.

**Figura 8.** Gráfica de horas vs temperatura en la ciudad de Villavicencio en el año 2018.



**Fuente:** Autor.

En el comportamiento de la curva anterior es posible observar una diferencia notable frente a la tendencia presentada en las figuras similares. En esta ocasión, el aumento en la frecuencia correspondiente a cada uno de los datos de temperatura es pronunciado, hasta alcanzar su valor máximo en 22,2°C. Inmediatamente se observa un decrecimiento paulatino que se extiende hasta el final de la Figura 8

### 3.1.7 Pereira

**Tabla 14.** Frecuencia de temperatura anual en Pereira.

Ciudad Pereira									
Estación AEROPUERTO MATECANA [26125710]					Altitud [m] 1342				
Latitud 4,812675					Longitud -75,73951944				
Periodo de muestra 1/Ene/18 - 31/Dic/18					Total de datos recolectados 8422				
Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia
15,3	1	18,6	127	21,9	74	25,2	57	28,5	16
15,4	0	18,7	150	22	71	25,3	54	28,6	13
15,5	0	18,8	137	22,1	82	25,4	53	28,7	14
15,6	0	18,9	134	22,2	66	25,5	59	28,8	5
15,7	0	19	157	22,3	65	25,6	51	28,9	6
15,8	2	19,1	141	22,4	74	25,7	53	29	11
15,9	3	19,2	156	22,5	51	25,8	41	29,1	5
16	5	19,3	151	22,6	79	25,9	38	29,2	11
16,1	1	19,4	147	22,7	70	26	55	29,3	3
16,2	6	19,5	150	22,8	67	26,1	33	29,4	7
16,3	1	19,6	149	22,9	74	26,2	40	29,5	9
16,4	7	19,7	137	23	56	26,3	48	29,6	5
16,5	7	19,8	112	23,1	79	26,4	48	29,7	4
16,6	9	19,9	146	23,2	68	26,5	41	29,8	2
16,7	10	20	115	23,3	74	26,6	27	29,9	1
16,8	11	20,1	134	23,4	53	26,7	39	30	1
16,9	12	20,2	108	23,5	70	26,8	34	30,1	0
17	22	20,3	93	23,6	67	26,9	30	30,2	1
17,1	22	20,4	110	23,7	70	27	37	30,3	0
17,2	28	20,5	107	23,8	52	27,1	32	30,4	0
17,3	30	20,6	106	23,9	59	27,2	24	30,5	1
17,4	34	20,7	107	24	58	27,3	35	30,6	0
17,5	42	20,8	113	24,1	70	27,4	28	30,7	1
17,6	48	20,9	105	24,2	58	27,5	17	30,8	1
17,7	72	21	112	24,3	66	27,6	15	30,9	0
17,8	68	21,1	89	24,4	56	27,7	28	31	0
17,9	81	21,2	88	24,5	53	27,8	22	31,1	0
18	118	21,3	82	24,6	60	27,9	21	31,2	0
18,1	94	21,4	84	24,7	51	28	16	31,3	0
18,2	106	21,5	90	24,8	60	28,1	18	31,4	0
18,3	103	21,6	74	24,9	53	28,2	16	31,5	2
18,4	110	21,7	66	25	61	28,3	10	Suma total	8422
18,5	127	21,8	99	25,1	50	28,4	10		

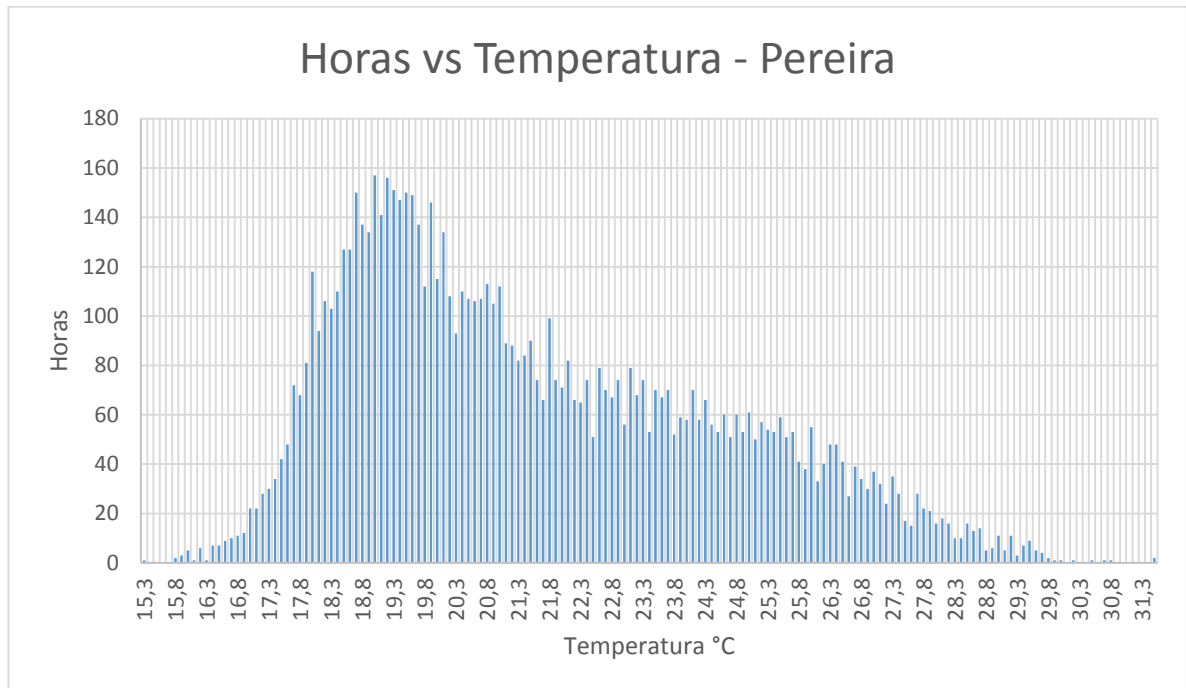
**Fuente:** Autor.

El promedio de temperatura de Pereira en 2018 es de 21,6°C, lo que la convierte en la ciudad con la temperatura media más baja entre todas las analizadas. La temperatura más baja registrada es de 15,3°C y la más alta de 31,5°C. La



medición de 19°C se ha repetido la mayor cantidad de veces en el periodo de muestra, en un total de 156 ocasiones. La estación Aeropuerto Matecaña cuenta con una eficiencia de 96,1% en lo que se refiere al número de mediciones realizadas.

**Figura 9.** Gráfica de horas vs temperatura en la ciudad de Pereira en el año 2018.



**Fuente:** Autor.

Como se mencionó, la temperatura media en Pereira es la más baja, y esto se evidencia en la gran concentración de datos que se observa en la parte izquierda de la Figura 9, y que además corresponden a valores de temperaturas bajas. En cuanto al comportamiento de la curva, es válido afirmar que inicialmente hay un rápido incremento en la frecuencia hasta alcanzar el punto que corresponde a la temperatura de 19,2°C, y posteriormente, a medida que va aumentando la temperatura, el número de veces con que se ha frecuentado cada medida, disminuye.

De manera general, es válido asegurar que el comportamiento de las curvas observado desde la Figura 3 hasta la Figura 9 es muy similar, iniciando siempre con una baja frecuencia en las mediciones recolectadas de temperatura, que aumenta drásticamente hasta alcanzar el pico de la figura, y posteriormente decrece de forma leve hasta un punto en el que se hace más notorio el aumento la inclinación, y así completar la gráfica. Sin embargo, cabe resaltar el caso de Cúcuta en el que luego del crecimiento inicial ocurrido en la curva, se observa una acumulación considerable de datos que se prolonga hasta el centro de la figura, donde se encuentra el pico. Posteriormente se da el decrecimiento hasta concluir con la representación de la información.

Gracias a los resultados arrojados anteriormente por medio de las estaciones de obtención de datos climatológicos ha sido posible calcular la temperatura media del aire en el año 2018 en cada una de las 7 ciudades estudiadas, lo que da paso para realizar la siguiente tabla comparativa.

**Tabla 15.** Ciudades con su respectiva altura y temperatura media del aire en 2018.

Ciudad	Altura [m]	Temperatura media anual en 2018 [°C]	Piso térmico
Barranquilla	14	27,8	Cálido
Cúcuta	313	26,9	Cálido
Villavicencio	444	25,7	Cálido
Cali	996	24,4	Templado
Bucaramanga	970	23,4	Templado
Medellín	1490	21,7	Templado
Pereira	1342	21,6	Templado

**Fuente:** Autor.

En la Tabla 15 se encuentran plasmadas la altura, temperatura media del aire en 2018 y el piso térmico correspondiente de cada una de las ciudades que son consideradas representativas de algunos pisos térmicos del país para efectos del presente trabajo. Los nombres de las ciudades se encuentran organizados en orden descendiente según su promedio de temperatura del aire. Junto con los

datos tabulados en la columna que corresponde a la altura en que se encuentran ubicadas sobre el nivel del mar, se puede confirmar lo bien que se ajusta el territorio colombiano a la clasificación climática ideada por Francisco José de Caldas, pues como se menciona en el literal 2.8.1, mientras mayor sea la altitud de cada ciudad, menor será su temperatura. Teniendo en cuenta la afirmación anterior, no es sorpresa que la temperatura media más alta corresponda a la ciudad de Barranquilla, y se esperaría que Medellín tuviera temperatura media del aire por debajo de la de Pereira, lo que no sucede en esta ocasión, sin embargo, la diferencia en dichas temperaturas no es considerable, pues solo difieren en  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Un caso similar es el de Cali y Bucaramanga, que no cumplen al pie de la letra con la relación que existe entre altitud y temperatura debido a que presentan una mínima discrepancia que no se estima de gran importancia ya que es posible que las diferencias encontradas tengan lugar como consecuencia del relieve y de los vientos a los que se encuentren expuestos cada una de las ciudades [16].

### **3.2 Construcción de tabla de temperaturas exteriores de referencia**

Hasta ahora, han sido escogidas siete ciudades que, por sus características climáticas, su ubicación geográfica, su población, además de otras cualidades, representan algunos pisos térmicos en Colombia. Posteriormente, se ha solicitado información recogida por estaciones climatológicas ubicadas en cada una de las ciudades seleccionadas, que tienen la función de realizar mediciones constantes de temperatura del aire local con una frecuencia de tiempo determinada. Cabe recordar que todo se ha realizado con el propósito de construir una tabla de temperaturas exteriores de referencia, similar a la Tabla 3, que consta de cuatro filas. La primera fila enumera la cantidad de valores de temperatura que aparecerán en la tabla. En este caso, la norma ISO 16358-1 que está enfocada en el cálculo del CSPF, afirma que en la segunda fila de la tabla deben estar plasmados los valores de temperatura correspondientes a la temporada de enfriamiento o refrigeración, es decir, la época en que se consideraría necesario el

uso de equipos acondicionadores de aire. En países ubicados en el trópico del planeta, esta temporada dura alrededor de cuatro meses [23], mientras que Colombia, por hacer parte la zona intertropical, posee un clima que depende de factores totalmente diferentes, principalmente de las condiciones geográficas de cada localidad, lo que conlleva a que en ciertas regiones, la temporada de enfriamiento perdure durante todo el año. En la tercera fila de la Tabla 3 se encuentra plasmado el porcentaje que representa el valor de una celda de la fila cuatro, denominada horas de referencia, frente a la suma total de todas sus semejantes. Las horas de referencia corresponden a una estimación del total de horas que se podrían frecuentar cada una de las temperaturas ya tabuladas durante el periodo de enfriamiento. A continuación se presenta el procedimiento realizado para construir la tabla de temperaturas exteriores de referencia de Colombia.

**Tabla 16 (repetida).** Temperaturas exteriores de referencia, Norma ISO 16358-1.

Número	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total
Temperatura exterior (tj) °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	—
Fracción	0,055	0,076	0,091	0,108	0,116	0,118	0,116	0,1	0,083	0,066	0,041	0,019	0,006	0,003	0,002	—
Horas de referencia (hj) h	100	139	165	196	210	215	210	181	150	120	75	35	11	6	4	1817

**Fuente:** Adaptado de [6].

Como el objetivo se enfoca en la construcción de una tabla que sirva para poder ser implementada en todo el territorio nacional, es pertinente realizar un promedio de los datos proporcionados por las estaciones meteorológicas, para después desarrollar un tratamiento estadístico que permitirá llegar al resultado que se busca.

Para conocer el promedio de frecuencia de todos los valores de temperatura, es necesario multiplicar el número de veces que ha sido medido un mismo valor de temperatura, por el total de datos consignados en la misma estación

meteorológica, y luego dividir el resultado entre la suma total de los datos recogidos en las siete ciudades. Al haber realizado el proceso anterior con el mismo valor de temperatura para cada una de las ciudades, se suman los respectivos resultados y finalmente se redondean al número entero más cercano. La mejor forma de aclarar este procedimiento es a través de un ejemplo:

Suponiendo que se desea encontrar el promedio de la frecuencia que corresponde a la temperatura de 25°C, es imprescindible conocer el número de veces que fue medido dicho valor en cada ciudad.

**Tabla 17.** Número de veces en que se ha medido la temperatura de 25°C en cada ciudad.

Ciudad	Medellín	Cali	Barranquilla	Cúcuta	Bucaramanga	Villavicencio	Pereira	Total
Frecuencia	56	29	98	90	73	85	61	492
Total de datos recogidos	8152	6530	7754	8111	8546	8656	8422	56171

**Fuente:** Autor.

Ahora, se debe multiplicar el valor de la frecuencia con el total de datos recogidos de la respectiva ciudad.

$$56 h * 8152 h = 456512 h^2$$

Posteriormente el valor se divide por la suma del total de todos los datos recolectados, es decir, en este caso el divisor es 56171.

$$\frac{456512 h^2}{56171 h} = 8,127h$$

El resultado de las siete divisiones realizadas se suma y se obtiene el siguiente resultado.

**Tabla 18.** Frecuencia promedio obtenido para la temperatura de 25°C.

Ciudad	Medellín	Cali	Barranquilla	Cúcuta	Bucaramanga	Villavicencio	Pereira	Total
Promedio	8,127	3,371	13,528	12,996	11,106	13,099	9,146	71,374

**Fuente:** Autor.

Finalmente, obtenida la frecuencia promedio que corresponde a la temperatura de 25°C, no queda más que aproximar el total calculado al número entero más cercano, que es equivalente a 71. El procedimiento llevado a cabo anteriormente se debe repetir para todos los valores de temperatura registrados en el periodo de muestra.

**Tabla 19.** Frecuencia de temperatura ponderada para Colombia en el año 2018.

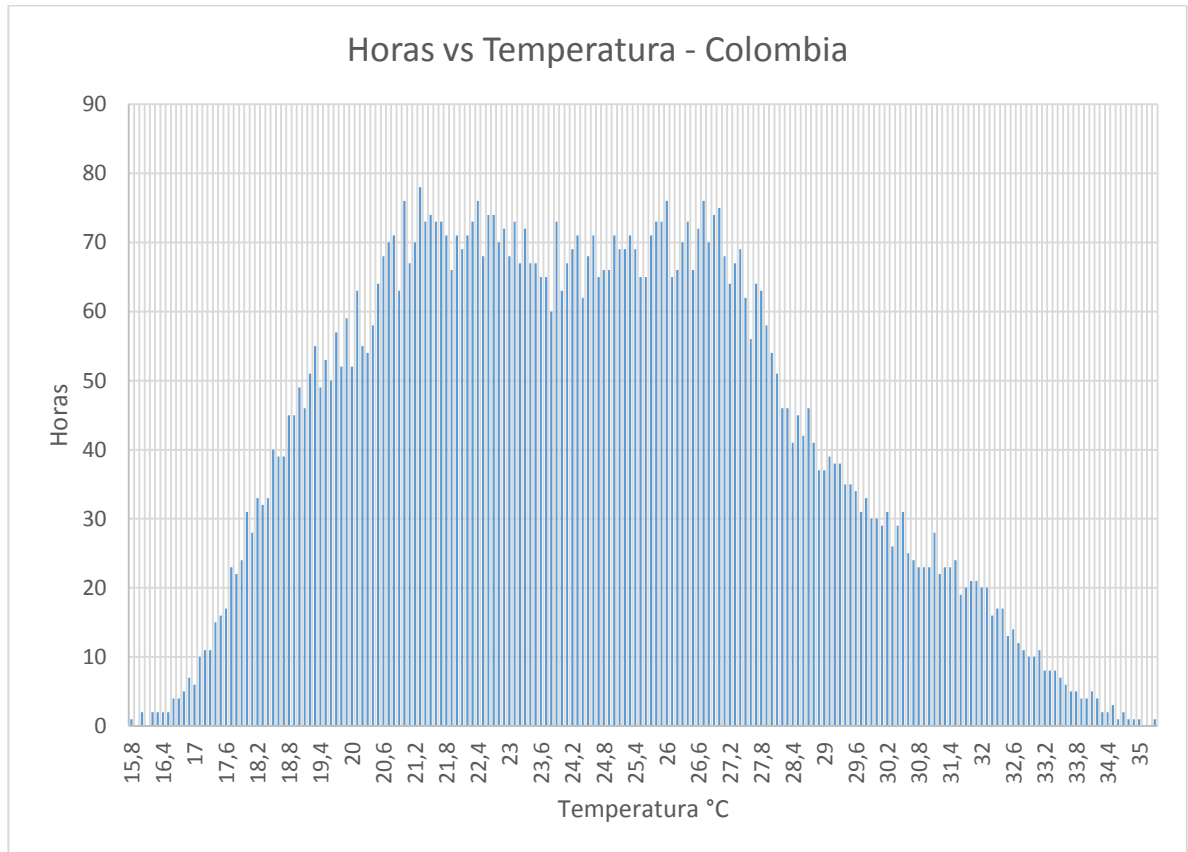
País									
Colombia									
Periodo de muestra					Total de datos				
1/Ene/18 - 31/Dic/18					8067				
Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia	Temperatura	Frecuencia
15,8	1	19,8	52	23,8	60	27,8	63	31,8	21
15,9	0	19,9	59	23,9	73	27,9	58	31,9	21
16	2	20	52	24	63	28	54	32	20
16,1	0	20,1	63	24,1	67	28,1	51	32,1	20
16,2	2	20,2	55	24,2	69	28,2	46	32,2	16
16,3	2	20,3	54	24,3	71	28,3	46	32,3	17
16,4	2	20,4	58	24,4	62	28,4	41	32,4	17
16,5	2	20,5	64	24,5	68	28,5	45	32,5	13
16,6	4	20,6	68	24,6	71	28,6	42	32,6	14
16,7	4	20,7	70	24,7	65	28,7	46	32,7	12
16,8	5	20,8	71	24,8	66	28,8	41	32,8	11
16,9	7	20,9	63	24,9	66	28,9	37	32,9	10
17	6	21	76	25	71	29	37	33	10
17,1	10	21,1	67	25,1	69	29,1	39	33,1	11
17,2	11	21,2	70	25,2	69	29,2	38	33,2	8
17,3	11	21,3	78	25,3	71	29,3	38	33,3	8
17,4	15	21,4	73	25,4	69	29,4	35	33,4	8
17,5	16	21,5	74	25,5	65	29,5	35	33,5	7
17,6	17	21,6	73	25,6	65	29,6	34	33,6	6
17,7	23	21,7	73	25,7	71	29,7	31	33,7	5
17,8	22	21,8	71	25,8	73	29,8	33	33,8	5
17,9	24	21,9	66	25,9	73	29,9	30	33,9	4
18	31	22	71	26	76	30	30	34	4
18,1	28	22,1	69	26,1	65	30,1	29	34,1	5
18,2	33	22,2	71	26,2	66	30,2	31	34,2	4
18,3	32	22,3	73	26,3	70	30,3	26	34,3	2
18,4	33	22,4	76	26,4	73	30,4	29	34,4	2
18,5	40	22,5	68	26,5	66	30,5	31	34,5	3
18,6	39	22,6	74	26,6	72	30,6	25	34,6	1
18,7	39	22,7	74	26,7	76	30,7	24	34,7	2
18,8	45	22,8	70	26,8	70	30,8	23	34,8	1
18,9	45	22,9	72	26,9	74	30,9	23	34,9	1
19	49	23	68	27	75	31	23	35	1
19,1	46	23,1	73	27,1	68	31,1	28	35,1	0
19,2	51	23,2	67	27,2	64	31,2	22	35,2	0
19,3	55	23,3	72	27,3	67	31,3	23	35,3	1
19,4	49	23,4	67	27,4	69	31,4	23	Suma total	8067
19,5	53	23,5	67	27,5	62	31,5	24		
19,6	50	23,6	65	27,6	56	31,6	19		
19,7	57	23,7	65	27,7	64	31,7	20		

**Fuente:** Autor.

Luego de la ponderación, se tiene que el total de datos tabulados para Colombia es de 8067, que es equivalente al 92,1% de los valores posibles que se pueden registrar durante un año en una estación meteorológica que toma mediciones de temperatura a cada hora. La temperatura media nacional es de 24,5°C, mientras

que el valor máximo y mínimo de temperatura son 35,3°C y 15,8°C respectivamente.

**Figura 10.** Horas vs temperatura en Colombia.



**Fuente:** Autor.

La Figura 10 presenta una gran acumulación de datos en la parte media de la gráfica. Al inicio la curva se eleva de forma rápida, alcanza su punto más alto a una frecuencia de 78, que corresponde a una temperatura de 21,3°C, donde tiende a atenuarse, para luego descender a partir del punto que indica 27,4°C y culminar la gráfica cuando llega al valor de temperatura máxima.

Al tener organizados los datos de temperatura y frecuencia hora a hora correspondiente para Colombia en el año 2018, no queda más que encontrar una



distribución de probabilidad de temperaturas, a través de las que se puede obtener una medida de idoneidad del clima [21][24].

Específicamente, la distribución de probabilidad normal (o simplemente distribución normal), es la más frecuente, ya que se aproxima a gran cantidad de sucesos o fenómenos cotidianos, de tal manera que hace presencia casi universal en campos de la ciencia como la biología, economía, física, medicina, entre otros [25].

La Figura 10, representa un ejemplo adecuado de los sucesos a los que se puede aproximar la distribución normal, que se caracterizan por tener pocos valores a los extremos de la gráfica y en el centro concentrar la mayor cantidad de datos. Su vista se puede asociar con la silueta de una campana, o mejor, se aproxima a la función de densidad eventualmente denominada “campana de Gauss”. La ecuación que describe la función de densidad de la distribución normal es la siguiente [26]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(x - \mu)^2\right) \quad (4)$$

Donde:

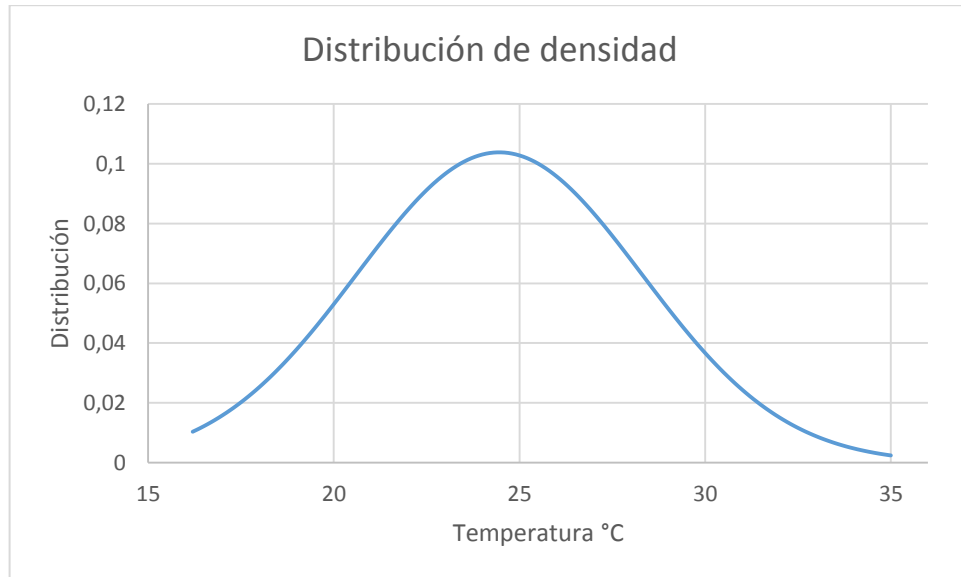
$\mu$ : Media

$\sigma$  : Desviación estándar

La media representa el punto central de la curva generada y la desviación estándar indica que tan achatada va a ser la función, en otras palabras, que tan dispersos se encuentran los datos que están siendo analizados [26].

Se calcula la media y la desviación estándar y se tienen como resultados  $\mu = 24,455$  y  $\sigma = 3,843$  respectivamente. Luego se puede proceder con la realización de la gráfica de la función.

**Figura 11.** Distribución de densidad.



**Fuente:** Autor.

El área bajo la curva de una función de distribución normal siempre tendrá un valor de 1. De forma más aplicativa, la declaración anterior quiere decir que, si se delimita la función, el área bajo la curva dentro de dicho rango, representa la posibilidad de ocurrencia del fenómeno que ha sido punto de partida para la construcción de la gráfica [27]. Entonces, al acotar la distribución de densidad en intervalos de 1°C, y encontrar el área bajo la curva de cada sección, es posible conocer la probabilidad con que se podría presentar algún valor de temperatura en Colombia.

Es importante tener claro cuál debe ser la marca de clase de los rangos de temperatura por los cuales se secciona la Figura 11. Se entiende por marca de clase al valor más representativo y punto medio de un intervalo y, por conveniencia, las marcas de clase en este proyecto deben ser números enteros. Ahora el área bajo la curva que haga parte de los límites estipulados, se le llamará probabilidad, y para encontrarla es necesario hacer uso de las siguientes ecuaciones [27].

$$a^* = \frac{a - \mu}{\sigma} \quad (5)$$

$$b^* = \frac{b - \mu}{\sigma} \quad (6)$$

Donde  $a$  y  $b$  representan el límite inferior y el límite superior del rango al que se le desea encontrar la probabilidad de ocurrencia.

Si se desea encontrar el área bajo la curva que hay en  $P(16,5 \leq x < 17,5)$  se debe llevar a cabo el siguiente procedimiento:

$$a^* = \frac{16,5 - 24,455}{3,843} = -2,07$$

$$b^* = \frac{17,4 - 24,455}{3,843} = -1,83$$

Se busca el equivalente de los resultados recientemente obtenidos en la tabla de probabilidades acumuladas de una distribución normal estándar del anexo 1, y finalmente se le resta el valor obtenido por medio de  $a^*$  al mismo equivalente de  $b^*$  para encontrar la probabilidad.

$$P(0,0192 < z < 0,0336)$$

$$P(16,5 \leq x < 17,5) = 0,0336 - 0,0192 = 0,0144$$

Si se multiplica el valor de cada probabilidad por el número total de datos de temperatura tabulado para Colombia, se obtiene un valor de frecuencia que representa el número de horas posibles en que se podría llegar a medir cierto

valor de temperatura. En caso de que lo amerite, el valor de la frecuencia obtenida debe aproximarse al número entero más cercano.

**Tabla 20.** Resultados de probabilidad obtenidos de la función de densidad.

Rango de temperaturas	Marca de clase $x_i$	Probabilidad	Frecuencia relativa
$16,5 \leq x < 17,5$	17	0,01440	116
$17,5 \leq x < 18,5$	18	0,02238	181
$18,5 \leq x < 19,5$	19	0,03356	271
$19,5 \leq x < 20,5$	20	0,04702	379
$20,5 \leq x < 21,5$	21	0,0616	497
$21,5 \leq x < 22,5$	22	0,07544	609
$22,5 \leq x < 23,5$	23	0,08635	697
$23,5 \leq x < 24,5$	24	0,09241	745
$24,5 \leq x < 25,5$	25	0,09244	746
$25,5 \leq x < 26,5$	26	0,08635	697
$26,5 \leq x < 27,5$	27	0,07557	610
$27,5 \leq x < 28,5$	28	0,06175	498
$28,5 \leq x < 29,5$	29	0,04718	381
$29,5 \leq x < 30,5$	30	0,03368	272
$30,5 \leq x < 31,5$	31	0,02248	181
$31,5 \leq x < 32,5$	32	0,01403	113
$32,5 \leq x < 33,5$	33	0,00818	66
$33,5 \leq x < 34,5$	34	0,00445	36
$34,5 \leq x < 35,5$	35	0,00244	20

**Fuente:** Autor.

La norma ISO 16358-1, especifica que la tabla de temperaturas exteriores de referencia puede ajustarse para diferentes condiciones climáticas y aclara que para la construcción de una tabla similar, deben considerarse únicamente las temperaturas en las que se valore que podría ser necesario el uso de un equipo acondicionador de aire, y cuando se trata de temperaturas elevadas que son muy inusuales, también se pueden descartar de la tabla [6]. Por lo tanto, se estima que la presencia de valores de temperatura inferiores a 21°C en la tabla de temperaturas exteriores de referencia para Colombia son sobrantes. A su vez, las

marcas de clase que presentan mayor probabilidad de ocurrencia son las equivalentes a las temperaturas de aire exterior de 24°C y 25°C.

**Tabla 21.** *Tabla de temperaturas exteriores de referencia para Colombia.*

Número	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total
Tempertura exterior $t_e$ [°C]	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	—
Fracción	0,081	0,099	0,113	0,121	0,121	0,113	0,099	0,081	0,062	0,044	0,029	0,018	0,011	0,006	0,003	—
Horas de referencia $n_i$ [h]	497	609	697	745	746	697	610	498	381	272	181	113	66	36	20	6168

**Fuente:** Autor.

Han sido tabulados 15 valores de la magnitud física analizada, que van desde 21°C hasta 35°C, y representan la temporada de enfriamiento en Colombia. El tratamiento estadístico ha arrojado las horas de referencia que simbolizan la cantidad de veces que se podrían frecuentar las unidades de temperatura exterior a lo largo de un año natural durante la temporada de enfriamiento y la fracción, no menos importante, que ha sido obtenida como el cociente que resulta de dividir las horas de referencia entre el total. Las horas de referencia son de suma utilidad para resolver ecuaciones matemáticas vinculadas con el cálculo del *CSPF*.

#### 4. PROCESAMIENTO EXPERIMENTAL

Como se ha mencionado, la información plasmada en la tabla 19 es fundamental para el cálculo del *Cooling Seasonal Performance Factor* de un equipo de acondicionamiento de aire, que también depende de factores como la capacidad de enfriamiento y la potencia de consumo que deben ser medidos mediante ensayos de laboratorio.

El procesamiento experimental está plenamente ligado a las condiciones de prueba establecidas en el estándar ISO 16358-1, que especifica las medidas del ambiente al que deben estar sometidos la evaporadora y la condensadora del equipo en la cámara interior y cámara exterior del calorímetro balanceado respectivamente. Es importante tener claro qué tipo de equipos se desean ingresar a la prueba porque el ajuste de los acondicionadores de aire de alta precisión que modifican el ambiente de los recintos depende totalmente de ello.

Sea cual sea el caso, la temperatura de bulbo seco de la cámara interior del calorímetro balanceado debe ser de 27°C, y la temperatura de la cámara exterior varía según el ensayo que se desea realizar. Un equipo de velocidad fija requiere ser sometido al menos a dos pruebas para adquirir los resultados exigidos para el cálculo del CSPF. Una de las pruebas consiste en operar el equipo a la máxima capacidad de refrigeración especificada por el fabricante con una temperatura en la cámara exterior igual a 35°C (Capacidad total  $\phi_{\text{ful}}(35)$ ) y (Potencia de entrada total  $P_{\text{ful}}(35)$ ); y únicamente difiere del segundo ensayo necesario en que la temperatura debe ajustarse a 29°C (Capacidad total  $\phi_{\text{ful}}(29)$ ) y (Potencia de entrada total  $P_{\text{ful}}(29)$ ). En ambas ocasiones, se debe medir la capacidad de enfriamiento y la potencia consumida por el equipo, aunque, como alternativa, se pueden eludir las pruebas de capacidad y potencia plena a 29°C, y obtener unos resultados muy precisos haciendo uso de los valores por defecto (ver tabla 2).

Cuando el equipo es de velocidad variable, a las pruebas de (Capacidad total  $\phi_{\text{ful}}(35)$ ) y (Potencia de entrada total  $P_{\text{ful}}(35)$ ), (Capacidad total  $\phi_{\text{ful}}(29)$ ) y (Potencia de entrada total  $P_{\text{ful}}(29)$ ) deben sumarse los ensayos del equipo operando al 50% de la máxima capacidad de refrigeración especificada por el fabricante cuando la cámara exterior tiene una temperatura de 35°C (Capacidad media  $\phi_{\text{haf}}(35)$ ) (Potencia de entrada media  $P_{\text{haf}}(35)$ ), y luego ajustando la temperatura del entorno a 29°C (Capacidad media  $\phi_{\text{haf}}(29)$ ) (Potencia de entrada

media  $P_{haf}(29)$ ), de igual forma, alguna de las dos pruebas pueden ser omitidas utilizando los valores por defecto establecidos. Existe un conjunto de ecuaciones alternativas para calcular el CSPF de un equipo inverter de las que se ha prescindido, que precisan de los resultados de dos ensayos que se realizan cuando el equipo está funcionando a la capacidad de enfriamiento mínima en la que se pueda garantizar su operación en estado estable a una temperatura en la cámara exterior de 35°C (Capacidad mínima  $\phi_{min}(35)$ ), (Potencia de entrada mínima  $P_{min}(35)$ ); y 29°C (Capacidad mínima  $\phi_{min}(29)$ ) , (Potencia de entrada mínima  $P_{min}(29)$ ); y además brindan unos valores por defecto como opción que suple la prueba desarrollada a 35°C. Por el modo en que está estandarizado, se piensa que al emplear los resultados de los ensayos cuando el equipo trabaja a la mitad de su capacidad de enfriamiento, es posible conseguir unas mediciones más confiables en comparación con las que se logran a partir de las pruebas de capacidad y potencia mínima.

## **5. RESULTADOS DEL ENSAYO DE LABORATORIO Y CÁLCULO DEL CSPF**

El calorímetro balanceado del Laboratorio de Ensayos para Equipos Acondicionadores de Aire de la Universidad Tecnológica de Pereira ha estado a disposición para ejecutar el procedimiento experimental ya planteado, y arrojar los valores medidos de capacidad de enfriamiento y potencia de consumo de los equipos sometidos a prueba. Una vez obtenidos los resultados mencionados, es posible proceder con el cálculo del factor de desempeño estacional de enfriamiento de los acondicionadores de aire de velocidad fija y velocidad variable.

Cabe destacar que el valor de *CPSF* hallado, ya sea siguiendo los lineamientos del estándar ISO 16358-1, o considerando la influencia de los pisos térmicos en Colombia, dependen de los mismos resultados obtenidos de cada equipo durante los ensayos del laboratorio, pues los factores de desempeño difieren

principalmente de los valores que son necesarios emplear durante su desarrollo matemático (ver Tabla 3 y Tabla 21).

### 5.1 Equipo de velocidad fija

Un equipo tipo ventana de capacidad de enfriamiento nominal de 18000 BTU/h, que por sus características se somete bajo ensayo a unas condiciones de cámara interior de 27°C de temperatura de bulbo seco, y 19°C de bulbo húmedo, y en la cámara exterior se ajusta una temperatura de bulbo seco de 35°C y 24°C de bulbo húmedo, tal como está establecido en la Tabla 2. Desde el momento en que el equipo es instalado y luego de que el calorímetro es encendido, es pertinente esperar alrededor de una hora para alcanzar una estabilización en el ambiente al interior de los recintos y poder proceder con el monitoreo de los valores de capacidad de enfriamiento, potencia consumida del equipo y arrojar los resultados de la prueba.

**Tabla 22.** Resultados del ensayo de laboratorio del equipo de velocidad fija.

Tipo de equipo Velocidad Fija	
Capacidad de enfriamiento [BTU/h] 18000	Capacidad de enfriamiento [W] 5217
<b>Prueba</b>	<b>Resultado [W]</b>
Capacidad total $\phi_{ful}(35)$	5100
Potencia de entrada total $P_{ful}(35)$	1800
Capacidad de entrada $\phi_{ful}(29)$	5493
Potencia de entrada total $P_{ful}(29)$	1645

**Fuente:** Autor.



En la prueba se ha obtenido una capacidad de enfriamiento de 5100 W y una potencia consumida de 1800 W con el equipo operando a la máxima capacidad de enfriamiento permitida. No se refleja gran discrepancia al comparar la capacidad de enfriamiento correspondiente a la información declarada por el fabricante y el valor arrojado en el LPEA, pues el error es solo del 2,3%. Como alternativa del ensayo en el que la temperatura de bulbo seco de la cámara exterior es de 29°C, se hace uso de los valores por defecto declarados en la Tabla 2.

$$\phi_{ful}(29) = 1,077 \cdot 5100 \text{ W} = 5493 \text{ W}$$

$$P_{ful}(29) = 0,914 \cdot 1800 \text{ W} = 1645 \text{ W}$$

En los resultados se refleja el comportamiento de la capacidad de enfriamiento y la potencia de consumo frente al cambio de temperatura en el ambiente en que se encuentra ubicado el elemento condensador. Mientras menor sea la temperatura, mayor será la cantidad de calor que puede ser removido, y a su vez, la cantidad de energía que demande el acondicionador de aire se verá reducida. Realizadas las pruebas, es posible calcular el CSPF.

**Tabla 23.** Resultado del cálculo del CSPF en Colombia de un equipo de velocidad fija.

i	t <sub>j</sub>	n <sub>j</sub> [h]	L <sub>c</sub> (t <sub>j</sub> ) [W]	ϕ <sub>ful</sub> (t <sub>j</sub> )	P <sub>ful</sub> (t <sub>j</sub> )	X (t <sub>j</sub> )	F <sub>pl</sub> (t <sub>j</sub> )	L <sub>cst</sub> [Wh]	C <sub>cse</sub> [Wh]
0	20	0	0	6081,75	1413	0	0,75	0	0
1	21	497	340	6016,30	1438,80	0,05651	0,76413	168980	52885,91
2	22	609	680	5950,85	1464,60	0,11427	0,77857	414120	130909,16
3	23	697	1020	5885,40	1490,40	0,17331	0,79333	710940	226938,02
4	24	745	1360	5819,95	1516,20	0,23368	0,80842	1013200	326509,26
5	25	746	1700	5754,50	1542	0,29542	0,82386	1268200	412490,18
6	26	697	2040	5689,05	1567,80	0,35858	0,83965	1421880	466678,38
7	27	610	2380	5623,60	1593,60	0,42322	0,85580	1451800	480725,68
8	28	498	2720	5558,15	1619,40	0,48937	0,87234	1354560	452412,82
9	29	381	3060	5492,70	1645,20	0,55710	0,88928	1165860	392683,60
10	30	272	3400	5427,25	1671,00	0,62647	0,90662	924800	314065,73
11	31	181	3740	5361,80	1696,80	0,69753	0,92438	676940	231749,53
12	32	113	4080	5296,35	1722,60	0,77034	0,94259	461040	159083,68
13	33	66	4420	5230,90	1748,40	0,84498	0,96124	291720	101437,05
14	34	36	4760	5165,45	1774,20	0,92151	0,98038	171360	60035,87
15	35	20	5100	5100	1800	1	1	102000	36000
							<b>Total</b>	11597400	3844604,90
							<b>F<sub>CSP</sub></b>	3,017	

**Fuente:** Autor.

El Factor de rendimiento estacional de enfriamiento  $F_{CSP}$  depende de la carga total estacional de enfriamiento y el consumo energético estacional de enfriamiento.

$$F_{CSP} = \frac{L_{CST}}{C_{CSE}} \quad (3)$$

Calculando  $L_{CST}$ :

$$L_{CST} = \sum_{j=1}^m L_c(t_j) \cdot n_j + \sum_{j=m+1}^n \phi_{ful}(t_j) \cdot n_j \quad (7)$$

Donde:

$L_{CST}$ : Carga total estacional de enfriamiento

$L_c(t_j)$ : Carga de enfriamiento en función de  $t_j$ .

$t_j$ : Temperatura exterior (de la Tabla 21).

$n_j$ : Horas de referencia (de la Tabla 21).

$\phi_{ful}(t_j)$ : Capacidad de enfriamiento total en función de  $t_j$ .

El cálculo de la ecuación (6) se encuentra condicionado, es decir, en caso de que sea  $L_c(t_j) \leq \phi_{ful}(t_j)$ , solo se debe tener en cuenta el término de la izquierda para hallar  $L_{CST}$ , pero si se tiene que  $L_c(t_j) \geq \phi_{ful}(t_j)$ , únicamente tendrá validez el término que involucra  $\phi_{ful}(t_j)$ .

Para la determinación de  $\phi_{ful}(t_j)$ , se implican los resultados obtenidos a través de los ensayos de laboratorio y los valores por defecto.

$$\phi_{ful}(t_j) = \phi_{ful}(35) + \frac{\phi_{ful}(29) - \phi_{ful}(35)}{35 - 29} \cdot (35 - t_j) \quad (8)$$

Para  $t_j = 35^\circ\text{C}$ :

$$\phi_{ful}(35) = 5100 \text{ W} + \frac{5493 \text{ W} - 5100 \text{ W}}{35 - 29} \cdot (35^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C})$$

$$\phi_{ful}(35) = 5100 \text{ W}$$

La ecuación para calcular  $L_c(t_j)$ , está dada por:

$$L_c(t_j) = \phi_{ful}(t_{100}) \cdot \frac{t_j - t_0}{t_{100} - t_0} \quad (1)$$

Como se ha mencionado,  $L_c(t_j)$  está directamente ligado con la tabla de temperaturas exteriores de referencia, y al tener la propia en Colombia, se tiene que:

$$\phi_{ful}(t_{100}) = \phi_{ful}(35)$$

$$t_{100} = 35^{\circ}\text{C}$$

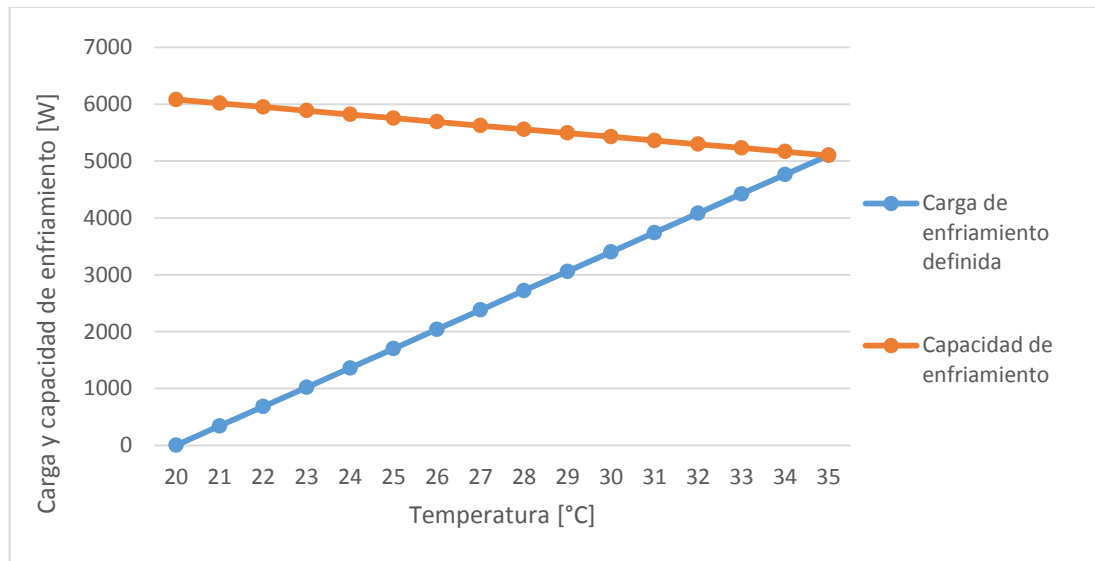
$$t_0 = 20^{\circ}\text{C}$$

Por lo tanto, cuando  $t_j = 35^{\circ}\text{C}$ ,  $L_c$  queda así:

$$L_c(35) = 5100 \text{ W} \cdot \frac{35^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{35^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}} = 5100 \text{ W}$$

Al ser (1) y (8) ecuaciones de primer grado, se espera que sus representaciones gráficas tengan un comportamiento lineal que depende del gradiente de temperatura.

**Figura 12.** Carga de enfriamiento definida y capacidad de enfriamiento vs temperatura exterior.



**Fuente:** Autor.

La carga de enfriamiento definida está representada de color azul. Cuando  $t_j = t_0$ ,  $L_c$  tiene un valor mínimo y aumenta linealmente hasta 5100 W cuando  $t_j = 35^\circ\text{C}$ , punto donde coincide con la recta de capacidad de enfriamiento, que, a diferencia de la línea azul, decrece cuando la temperatura aumenta, por lo tanto, es válido afirmar que la carga de enfriamiento definida y la capacidad de enfriamiento son inversamente proporcionales.

Al encontrar los valores de  $L_c(t_j)$  y  $\phi_{ful}(t_j)$  para cada una de las temperaturas exteriores, se hace evidente en la Tabla 23 que  $\phi_{ful}(t_j)$  siempre es mayor que  $L_c(t_j)$ , por lo que la carga total estacional de enfriamiento del equipo on-off en estudio se desarrolla así:

$$L_{CST} = \sum_{j=1}^{15} L_c(t_j) \cdot n_j = 11597400 \text{ W.h}$$

Ahora es pertinente llevar a cabo el cálculo de consumo energético estacional de enfriamiento, que consta de una sumatoria del producto de variables que dependen de la temperatura exterior, dentro del que incluye la potencia consumida por el equipo.

$$C_{CSE} = \sum_{j=1}^n X(t_j) \cdot P_{ful}(t_j) \cdot \frac{n_j}{F_{PL}(t_j)} \quad (9)$$

Donde:

$C_{CSE}$ : Consumo energético estacional de enfriamiento.

$X(t_j)$ : Relación de carga y capacidad en función de  $t_j$ .

$P_{ful}(t_j)$ : Potencia de entrada total en función de  $t_j$ .

$F_{PL}(t_j)$ : Factor de carga parcial en función de  $t_j$ .

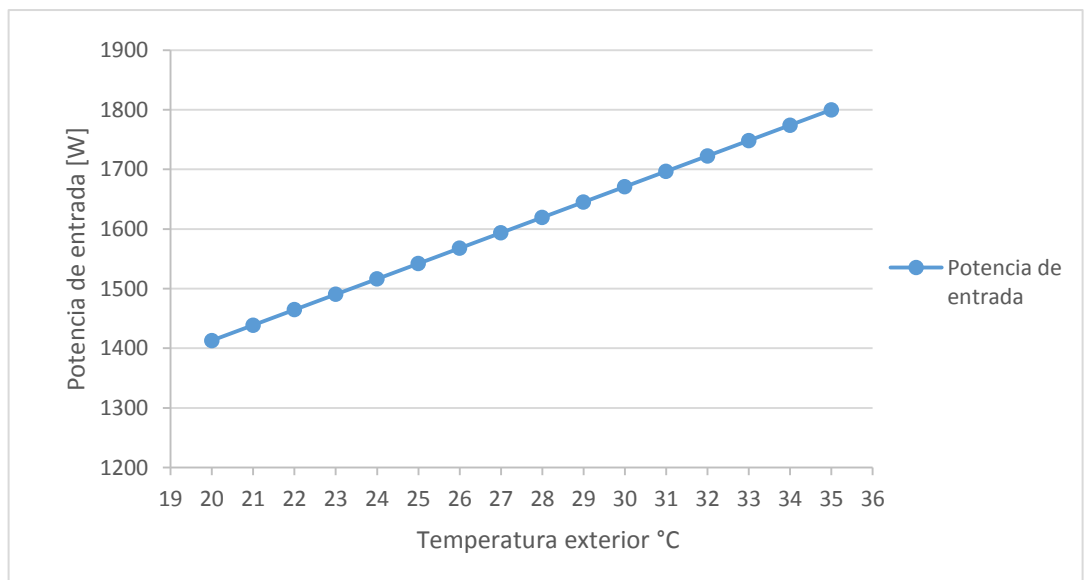
Ha sido necesario encontrar los valores de  $P_{ful}(35)$  y  $P_{ful}(29)$  mediante las pruebas de laboratorio para poder calcular el cambio de la potencia consumida por el equipo acondicionador de aire en relación con la temperatura.

$$P_{ful}(t_j) = P_{ful}(35) + \frac{P_{ful}(29) - P_{ful}(35)}{35 - 29} \cdot (35 - t_j) \quad (10)$$

La potencia consumida cuando la temperatura exterior corresponde a  $35^\circ\text{C}$  queda así:

$$P_{ful}(35) = 1800 \text{ W} + \frac{1645,2 \text{ W} - 1800 \text{ W}}{35 - 29} \cdot (35^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}) = 1800 \text{ W}$$

**Figura 13.** Potencia de entrada vs temperatura exterior.



**Fuente:** Autor.

Al igual de la carga de enfriamiento definida y la capacidad de enfriamiento, la potencia de entrada del equipo presenta un comportamiento lineal, que crece conforme aumenta la temperatura exterior, y es inversamente proporcional a la capacidad de enfriamiento.

Ahora, es momento de encontrar la relación de carga y capacidad, que como su nombre lo indica, vincula la carga de enfriamiento definida y la capacidad de enfriamiento.

$$X(t_j) = \frac{L_c(t_j)}{\phi(t_j)} \quad (11)$$

Cuando se está analizando el CSPF de un equipo acondicionador de aire de velocidad fija, la capacidad de enfriamiento de la expresión anterior, es equivalente a la capacidad de enfriamiento calculada a partir de la ecuación (8), y cuando este resultado es menor que la carga de enfriamiento definida, entonces la relación de carga y capacidad debe ser igual a 1 ( $L_c(t_j) > \phi(t_j)$ ;  $X(t_j) = 1$ ) [6].

Resolviendo (11) cuando la temperatura exterior corresponde a 35°C.

$$X(35) = \frac{5100 \text{ W}}{5100 \text{ W}} = 1$$

Como se entiende que  $n_j$ , se obtiene de la tabla 20, solo queda hallar el factor de carga parcial que depende de la relación de carga y capacidad. Se expresa de la siguiente manera:

$$F_{PL}(t_j) = 1 - C_D (1 - X(t_j)) \quad (12)$$

En donde  $F_{PL}(t_j)$  es el factor de carga parcial,  $X(t_j)$  es la relación de carga y capacidad y  $C_D$  es el coeficiente de degradación, que representa la disminución en la eficiencia del dispositivo climatizador cuando opera de manera cíclica. La norma

industrial japonesa (JIS), estima que el rendimiento debido al trabajo cíclico disminuye un 25% en comparación con la eficiencia de un equipo que funciona de forma continua [28]. Así mismo lo asume el estándar ISO 16358-1, en el que declara al coeficiente de degradación como un valor por defecto equivalente a 0,25.

En la ecuación (12), cuando  $X(t_j) = 1$ ,  $F_{PL}(t_j) = 1$ .

Cuando  $t_j = 35^\circ\text{C}$ , entonces:

$$F_{PL}(35) = 1$$

Al resolver los términos de la expresión (9) correspondientes a cada una de las temperaturas exteriores expuestas en la tabla de temperaturas exteriores de referencia para Colombia, y sumar todos los resultados obtenidos, es posible encontrar el consumo de energía estacional de enfriamiento del equipo de velocidad fija sometido a ensayo.

$$C_{CSE} = \sum_{j=1}^{15} X(t_j) \cdot P_{ful}(t_j) \cdot \frac{n_j}{F_{PL}(t_j)} = 3844604,9 \text{ W.h}$$

Finalmente, el factor de rendimiento estacional de enfriamiento del equipo de velocidad fija con capacidad de enfriamiento nominal de 18000 BTU/h, es el siguiente:

$$F_{CSP} = \frac{11597400 \text{ W.h}}{3844604,9 \text{ W.h}} = 3,01 \frac{\text{W.h}}{\text{W.h}}$$

Al ser este trabajo el primer acercamiento al cálculo del factor de rendimiento estacional de enfriamiento en Colombia no existe aún una tabla local que sirva como referencia para poder tener una noción sobre qué tan eficiente es el equipo evaluado en el Laboratorio de Ensayos para Equipos Acondicionadores de Aire.



Una alternativa válida para efectuar una comparación del valor de CSPF encontrado, es relacionarlo con el factor de desempeño estacional de enfriamiento calculado para el mismo equipo, disponiendo de la tabla de temperaturas exteriores de referencia establecida por la norma ISO 16358-1 para el desarrollo matemático, y catalogar ambos resultados partiendo de una tabla de clasificación energética.

Al comparar los resultados del cálculo del factor de desempeño estacional de enfriamiento en Colombia, con los datos presentados en la Tabla 24, se hace notable la disparidad en el número de horas de referencia, pues es válido afirmar que son rasgos característicos del proyecto en desarrollo y del estándar ISO 16358-1, además, no debe pasar de forma desapercibida el rango plasmado de temperaturas exteriores, que en el primer caso, ha sido establecido considerando la influencia del clima colombiano, y casualmente, se ha tornado igual al instaurado en la norma internacional, favoreciendo que el número de horas de referencia sea la principal y más determinante diferencia entre ambas tablas.

**Tabla 24.** Resultado del cálculo del CSPF de un equipo de velocidad fija según la norma ISO 16358-1.

i	t <sub>j</sub>	n <sub>j</sub> [h]	L <sub>c</sub> (t <sub>j</sub> ) [W]	$\phi_{ful}(t_j)$	P <sub>ful</sub> (t <sub>j</sub> )	X (t <sub>j</sub> )	F <sub>pl</sub> (t <sub>j</sub> )	L <sub>cst</sub> [Wh]	C <sub>cse</sub> [Wh]
0	20	0	0	6081,75	1413	0	0,75	0	0
1	21	100	340	6016,30	1438,80	0,05651	0,76413	34000	10641,03
2	22	139	680	5950,85	1464,60	0,11427	0,77857	94520	29879,10
3	23	165	1020	5885,40	1490,40	0,17331	0,79333	168300	53722,77
4	24	196	1360	5819,95	1516,20	0,23368	0,80842	266560	85900,42
5	25	210	1700	5754,50	1542	0,29542	0,82386	357000	116116,54
6	26	215	2040	5689,05	1567,80	0,35858	0,83965	438600	143953,88
7	27	210	2380	5623,60	1593,60	0,42322	0,85580	499800	165495,73
8	28	181	2720	5558,15	1619,40	0,48937	0,87234	492320	164431,17
9	29	150	3060	5492,70	1645,20	0,55710	0,88928	459000	154599,84
10	30	120	3400	5427,25	1671,00	0,62647	0,90662	408000	138558,41
11	31	75	3740	5361,80	1696,80	0,69753	0,92438	280500	96028,81
12	32	35	4080	5296,35	1722,60	0,77034	0,94259	142800	49273,71
13	33	11	4420	5230,90	1748,40	0,84498	0,96124	48620	16906,18
14	34	6	4760	5165,45	1774,20	0,92151	0,98038	28560	10005,98
15	35	4	5100	5100	1800	1	1	20400	7200
							<b>Total</b>	3738980	1242713,56
							<b>F<sub>CSP</sub></b>	3,009	

**Fuente:** Autor.

Nada cambia cuando se hace énfasis en las propiedades que involucran de manera directa a los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, como ocurre con la carga de enfriamiento definida, la capacidad de enfriamiento a carga plena y la potencia consumida por el equipo a carga plena, y posteriormente acontece de forma similar con la relación de carga y capacidad, y el factor de carga parcial, que dependen únicamente de los términos ya mencionados.

Continuando con la comparación, se observa que la carga total estacional de enfriamiento y el consumo energético estacional de enfriamiento son muy diferentes en ambas tablas, lo que es de esperarse al resultar como productos de una operación que en una parte comprende el número de horas de referencia, sin embargo, al relacionar la carga total y el consumo energético estacional de enfriamiento no se aprecia gran diferencia en los resultados de CSPF, ya que en el cálculo obtenido para Colombia, es mayor que el mismo conseguido siguiendo

todos los lineamientos de la norma ISO 16358-1, tan solo por 8 milésimas de unidad, con un valor de 3,017.

**Tabla 25.** Clasificación de eficiencia energética en Filipinas.

Clasificación de eficiencia energética (Tipo ventada & Split)				
Equipo y clasificación	Cooling Seasonal Performance Factor (CSPF)			
	Velocidad Fija		Velocidad Variable	
	CE < 12000 BTU/h	CE > 12000 BTU/h	CE < 12000 BTU/h	CE > 12000 BTU/h
1 Estrella	$2,9 \leq \eta \leq 2,93$	$2,81 \leq \eta \leq 2,83$	—	—
2 Estrellas	$2,94 \leq \eta \leq 3,03$	$2,84 \leq \eta \leq 2,94$	—	—
3 Estrellas	$3,04 \leq \eta \leq 3,24$	$2,95 \leq \eta \leq 3,12$	—	—
4 Estrellas	$3,25 \leq \eta \leq 3,99$	$3,13 \leq \eta \leq 3,76$	$3,25 \leq \eta \leq 3,99$	$3,13 \leq \eta \leq 3,76$
5 Estrellas	$\eta \geq 4$	$\eta \geq 3,77$	$\eta \geq 4$	$\eta \geq 3,77$

**Fuente:** [29].

En algunos países existe una tabla como la anterior que sirve de herramienta para clasificar los equipos acondicionadores de aire según sea su resultado de factor de rendimiento estacional de enfriamiento en un rango de una a cinco estrellas, siendo uno un rendimiento del equipo deficiente, y cinco para equipos de excelentes cualidades. Por ahora interesa la columna adscrita a los equipos de velocidad fija, y particularmente, los que tienen una capacidad de enfriamiento superior a 12000 BTU/h. Al examinar la tabla, se observa que los dos valores obtenidos de CSPF previamente, serían clasificados en Filipinas, como equipos de 3 estrellas, lo que significa que cuentan con un desempeño intermedio.

## 5.2 Equipo de velocidad variable

A diferencia de los equipos de velocidad fija, cuando se desea calcular el factor de desempeño estacional de enfriamiento de un acondicionador de aire inverter, se debe llevar a cabo un procedimiento un poco más complejo tanto en experimentalmente como matemáticamente para garantizar un resultado adecuado.

El equipo de velocidad variable sometido a ensayo tiene una capacidad de enfriamiento de 24000 BTU/h, y ser ingresado al calorímetro balanceado al menos en dos oportunidades. En ambos acontecimientos la cámara exterior debe estar a una temperatura de 35°C y la interior a 27°C, pero teniendo en cuenta las virtudes del acondicionador de aire, es imprescindible que en un ensayo el equipo opere a carga total, mientras que, en la otra ocasión, funcione utilizando únicamente el 50% de su máxima capacidad de refrigeración. También, hay otros resultados que son indispensables para alcanzar el propósito deseado, sin embargo, es posible obtenerlos por medio de los valores por defecto que ofrece la norma ISO 16358.

**Tabla 26.** Resultados del ensayo de laboratorio a equipo de velocidad fija.

Tipo de equipo Velocidad variable	
Capacidad de enfriamiento [BTU/h] 24000	Capacidad de enfriamiento [W] 7034
Prueba	Resultado [W]
Capacidad total $\phi_{ful}(35)$	7091,00
Potencia de entrada total $P_{ful}(35)$	2332,00
Capacidad media $\phi_{haf}(35)$	3572,00
Potencia de entrada media $P_{haf}(35)$	793,00
Capacidad total $\phi_{ful}(29)$	7637,00
Potencia de entrada total $P_{ful}(29)$	2131,45
Capacidad media $\phi_{haf}(29)$	3847,04
Potencia de entrada media $P_{haf}(29)$	724,80

**Fuente:** Autor.

Se ha ingresado a dos ensayos de laboratorio el equipo inverter en los que se han realizado cuatro mediciones, repartidas en capacidad de enfriamiento y potencia de consumo. Por otra parte, las pruebas requeridas en las que la cámara exterior del calorímetro balanceado debe tener una temperatura de 29°C, han sido relegadas, y en su lugar, se ha optado por encontrar los productos ausentes por medio de los valores por defecto estipulados en la norma internacional. Los

resultados de las pruebas arrojan un comportamiento similar a los del equipo de velocidad fija. Si se comparan entre sí las mediciones con el equipo operando a la misma capacidad, se observa que, a menor temperatura exterior, aumentará la capacidad de enfriamiento y se reducirá la potencia de consumo. También, es importante resaltar, que la capacidad de enfriamiento media tiene un valor muy cercano a la mitad de la capacidad total del ensayo a la misma temperatura, mientras que cuando a potencia consumida se refiere, el resultado obtenido de la prueba con el acondicionador de aire funcionando al 50% de su capacidad total, representa casi un tercio del valor medido cuando el equipo trabaja a plena carga.

$$\phi_{ful}(29) = 1,077 \cdot 7091 \text{ W} = 7637 \text{ W}$$

$$P_{ful}(29) = 0,914 \cdot 2332 \text{ W} = 2131,45 \text{ W}$$

$$\phi_{haf}(29) = 1,077 \cdot 3572 \text{ W} = 3847,04 \text{ W}$$

$$P_{haf}(29) = 0,914 \cdot 793 \text{ W} = 724,8 \text{ W}$$

**Tabla 27.** Resultado del cálculo del CSPF en Colombia de un equipo de velocidad variable.

i	t <sub>j</sub>	n <sub>j</sub> [h]	L <sub>c</sub> (t <sub>j</sub> ) [W]	φ <sub>fuel</sub> (t <sub>j</sub> ) [W]	φ <sub>haf</sub> (t <sub>j</sub> ) [W]	P <sub>fuel</sub> (t <sub>j</sub> ) [W]	P <sub>haf</sub> (t <sub>j</sub> ) [W]	F <sub>pl</sub> (t <sub>j</sub> )	x(t <sub>j</sub> )	E <sub>ER,hf</sub> (t <sub>j</sub> )	P <sub>hf</sub> (t <sub>j</sub> ) [W]	L <sub>cst</sub> [Wh]	C <sub>cse</sub> [Wh]
0	20	0	0	8456,02	4259,61	1830,62	622,51	0,750	0	—	—	0	0
1	21	497	472,73	8365,02	4213,77	1864,05	633,87	0,778	0,112	—	—	234948,47	45425,23
2	22	609	945,47	8274,02	4167,93	1897,47	645,24	0,807	0,227	—	—	575789,2	110495,62
3	23	697	1418,20	8183,01	4122,09	1930,90	656,6	0,836	0,344	—	—	988485,4	188340,57
4	24	745	1890,93	8092,01	4076,25	1964,32	667,97	0,866	0,464	—	—	1408745,33	266578,39
5	25	746	2363,67	8001,01	4030,41	1997,75	679,34	0,897	0,586	—	—	1763295,33	331478,54
6	26	697	2836,40	7910,01	3984,57	2031,17	690,7	0,928	0,712	—	—	1976970,8	369301,05
7	27	610	3309,13	7819,01	3938,73	2064,60	702,07	0,96	0,840	—	—	2018571,33	374782,95
8	28	498	3781,87	7728,01	3892,88	2098,02	713,44	0,993	0,971	—	—	1883369,6	347637,2
9	29	381	4254,60	7637,01	3847,04	2131,45	724,80	—	—	5,15	826,42	1621002,6	314866,35
10	30	272	4727,33	7546,01	3801,2	2164,87	736,17	—	—	4,80	985,48	1285834,67	268051,07
11	31	181	5200,07	7455	3755,36	2198,30	747,53	—	—	4,45	1169,68	941212,07	211711,54
12	32	113	5672,80	7364	3709,52	2231,72	758,9	—	—	4,09	1385,47	641026,4	156558,65
13	33	66	6145,53	7273	3663,68	2265,15	770,27	—	—	3,74	1641,77	405605,2	108356,92
14	34	36	6618,27	7182	3617,84	2298,57	781,63	—	—	3,39	1951,15	238257,6	70241,34
15	35	20	7091	7091	3572	2332	793	—	—	3,04	2332	141820	46640
											<b>Total</b>	16124934	3210465
											<b>F<sub>CSP</sub></b>	5,02	

Fuente: Autor.

Para calcular el *CSPF* del equipo de velocidad variable, es necesario retomar la ecuación de la que parte todo el proceso.

$$F_{CSP} = \frac{L_{CST}}{C_{CSE}} \quad (3)$$

Nuevamente se hace frente a la ecuación del *Cooling Seasonal Performance Factor*, y se inicia con la solución de la carga total estacional de enfriamiento.

$$L_{CST} = \sum_{j=1}^m L_c(t_j) \cdot n_j + \sum_{j=m+1}^n \phi_{ful}(t_j) \cdot n_j \quad (7)$$

La ecuación es exactamente igual a la usada en el literal anterior, así que se desarrolla el cálculo como se ha venido haciendo, encontrando la capacidad de enfriamiento y la carga de enfriamiento definida para diferentes valores de temperatura.

$$\phi_{ful}(t_j) = \phi_{ful}(35) + \frac{\phi_{ful}(29) - \phi_{ful}(35)}{35 - 29} \cdot (35 - t_j) \quad (8)$$

Para  $t_j = 35^\circ\text{C}$ :

$$\phi_{ful}(35) = 7091 \text{ W} + \frac{7637 \text{ W} - 7091 \text{ W}}{35 - 29} \cdot (35^\circ\text{C} - 35^\circ)$$

$$\phi_{ful}(35) = 7091 \text{ W}$$

Ahora, calculando  $L_c$ :

$$L_c(t_j) = \phi_{ful}(t_{100}) \cdot \frac{t_j - t_0}{t_{100} - t_0} \quad (1)$$

Cuando la temperatura exterior tiene un valor de 35°C:

$$L_c(35) = 7091 \text{ W} \cdot \frac{35^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}{35^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}$$

$$L_c(35) = 7091 \text{ W}$$

En la tabla 26 se hace constancia de que, en todas las ocasiones, el valor de  $\phi_{ful}(t_j)$  es mayor que  $L_c(t_j)$ , lo que hace recordar que cuando  $L_c(t_j) \leq \phi_{ful}(t_j)$ , la carga total estacional de enfriamiento se resuelve así:

$$L_{CST} = \sum_{j=1}^{15} L_c(t_j) \cdot n_j = 16124934 \text{ W.h}$$

Hasta ahora, el cálculo del CSPF no ha variado en lo absoluto con respecto al caso de los acondicionadores de aire de velocidad fija, sin embargo, en la expresión asociada con el consumo de energía eléctrica, es posible apreciar grandes diferencias.

$$C_{CSE} = \sum_{j=1}^p \frac{X(t_j) \cdot P_{haf}(t_j) \cdot n_j}{F_{PL}(t_j)} + \sum_{j=p+1}^m P_{hf}(t_j) \cdot n_j + \sum_{j=p+1}^m P_{ful}(t_j) \cdot n_j \quad (13)$$

En la ecuación (13) aparecen nuevos términos, entre los que se encuentran  $P_{haf}(t_j)$  que es la potencia media consumida por el acondicionador de aire a diferentes valores de temperatura exterior, y  $P_{hf}(t_j)$ , que representa la potencia de consumo cuando el equipo opera entre la capacidad plena y media variablemente en función de la temperatura.

Es primordial conocer las condiciones que rigen la ecuación anterior:



En la primera etapa de operación cíclica ( $L_c(t_j) \leq \phi_{haf}(t_j)$ ,  $j = 1$  a  $p$ ), la relación de carga y capacidad se debe expresar así:

$$X(t_j) = \frac{L_c(t_j)}{\phi_{haf}(t_j)} \quad (14)$$

En la segunda etapa de operación cíclica que ocurre cuando ( $\phi_{haf}(t_j) < L_c(t_j) \leq \phi_{ful}(t_j)$ ,  $j = p+1$  a  $m$ ) se debe calcular el consumo energético estacional de enfriamiento efectuando la operación que sigue del primer operador de suma que hay en la ecuación. Cuando ( $L_c(t_j) > \phi_{ful}(t_j)$ ,  $j = m+1$  a  $n$ ) se presenta la tercera etapa de operación cíclica, y debe hacerse uso del tercer término de (13).

Para verificar el acontecimiento de cada una de las etapas de operación cíclica, es indispensable saber cómo cambia la capacidad de enfriamiento media en función de la temperatura exterior, pues la carga de enfriamiento definida y la capacidad de enfriamiento total ya es conocida para cada punto.

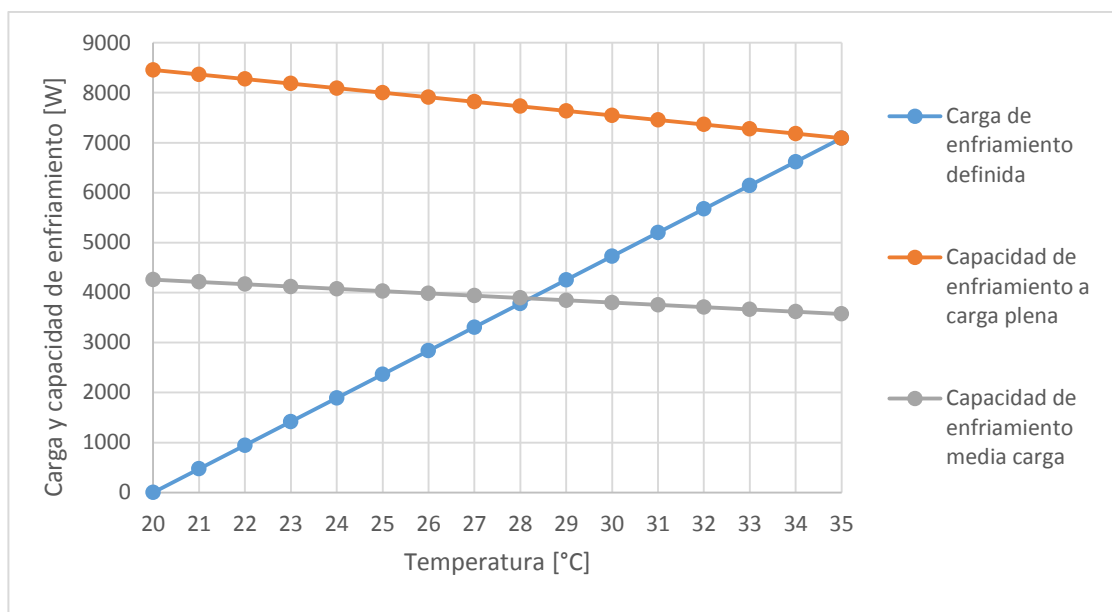
$$\phi_{haf}(t_j) = \phi_{haf}(35) + \frac{\phi_{haf}(29) - \phi_{haf}(35)}{35 - 29} \cdot (35 - t_j) \quad (15)$$

En los que  $\phi_{haf}(35)$  y  $\phi_{haf}(29)$  son valores encontrados luego de los ensayos de laboratorio. Cuando  $t_j = 35^\circ\text{C}$ :

$$\phi_{haf}(35) = 3572 \text{ W} + \frac{3847,04 \text{ W} - 3572 \text{ W}}{35 - 29} \cdot (35^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C})$$

$$\phi_{haf}(35) = 3572 \text{ W}$$

**Figura 14.** Carga de enfriamiento definida, capacidad de enfriamiento a plena y media carga.



**Fuente:** Autor.

En la figura anterior, se ratifica que la carga de enfriamiento es inversamente proporcional a la capacidad de enfriamiento. Nuevamente, la carga de enfriamiento coincide en el punto de máxima temperatura con la capacidad de enfriamiento total, y además, tras la necesaria presencia de la capacidad de enfriamiento a media carga en el modelamiento matemático para encontrar el CSPF de equipos de velocidad variable, es posible apreciar una segunda intersección, en un punto que a simple vista aparenta estar en la zona media de la figura, más precisamente cuando la temperatura equivale a 28,2°C. De estos cruces se comentará de forma más detallada posteriormente, pues tienen gran relevancia en el desarrollo algebraico. También se refleja que ambas líneas tienen pendiente diferente, ya que cuando la temperatura es baja, la diferencia de potencia que hay en cada uno de los puntos es amplia, y se reduce a medida que la temperatura se incrementa. Esto se debe a que la inclinación de la recta correspondiente a la capacidad de enfriamiento a plena carga es mayor que la sobrante.

Al examinar los resultados obtenidos de capacidad de enfriamiento media para cada valor de temperatura, y compararlos con los datos correspondientes de capacidad de enfriamiento total y carga de enfriamiento definida, se hace evidente (ver Tabla 27. Resultado del cálculo del CSPF en Colombia de un equipo de velocidad variable.) que la primera etapa de operación cíclica se da hasta que la temperatura exterior corresponde a 28°C, y a partir de este punto, hace lo propio la segunda etapa de operación cíclica hasta que la temperatura es de 35°C.

$$C_{CSE} = \sum_{j=1}^8 \frac{X(t_j) \cdot P_{haf}(t_j) \cdot n_j}{F_{PL}(t_j)} + \sum_{j=9}^{15} P_{hf}(t_j) \cdot n_j$$

Solucionando la primera etapa de operación cíclica y retomando la ecuación (14) para el caso en que la temperatura exterior equivale a 21°C:

$$X(21) = \frac{472,73 \text{ W}}{4213,77 \text{ W}} = 0,112$$

La ecuación para hallar la potencia media de enfriamiento en función de la temperatura está dada por:

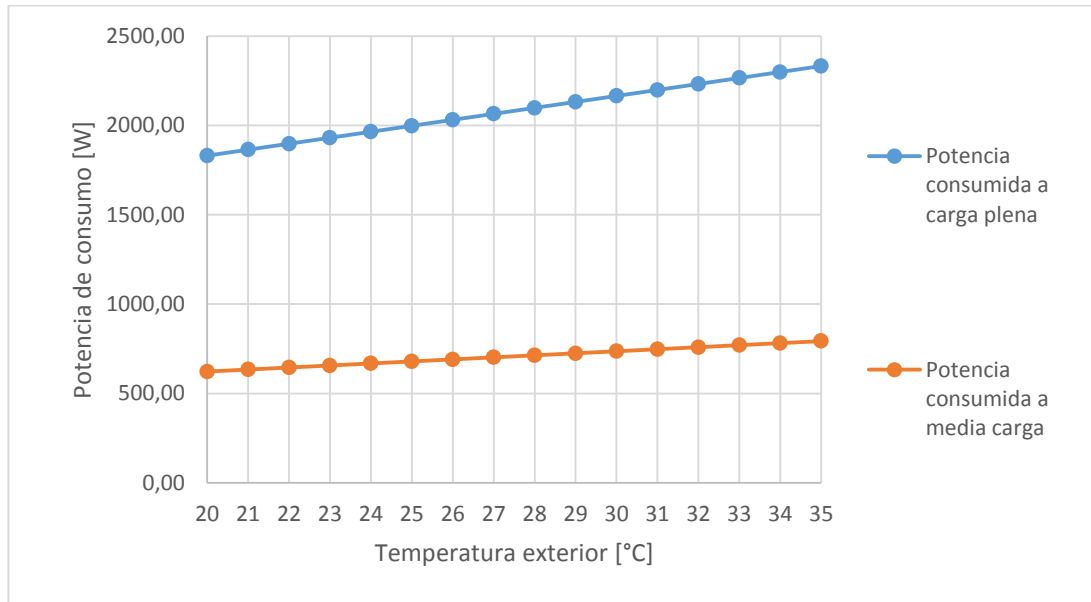
$$P_{haf}(t_j) = P_{haf}(35) + \frac{P_{haf}(29) - P_{haf}(35)}{35 - 29} \cdot (35 - t_j) \quad (16)$$

La potencia media consumida por el equipo acondicionador de aire cuando la temperatura exterior es de 29°C y 35°C es obtenida a partir de los valores por defecto estipulados en la norma. Si  $t_j = 21^\circ\text{C}$ :

$$P_{haf}(21) = 793 \text{ W} + \frac{724,8 \text{ W} - 793 \text{ W}}{35 - 29} \cdot (35^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C})$$

$$P_{haf}(21) = 633,87 \text{ W}$$

**Figura 15.** Potencia de consumo a plena y media carga.



**Fuente:** Autor.

A diferencia de la Figura 14 en la que la línea de capacidad de enfriamiento media roza con la mitad correspondiente a la recta de capacidad de enfriamiento total en cada uno de los puntos, se puede afirmar que no se refleja la misma tendencia cuando se trata de potencia consumida por el equipo acondicionador de aire. La diferencia perceptible entre ambas rectas es aproximadamente de 1,5 veces la potencia consumida a media carga. Mientras mayor es la temperatura, se visualiza como aumenta la inclinación de la recta azul, mientras que la pendiente de la línea naranja es más modesta.

El número de horas de referencia  $n_j$ , ya es conocido, y el factor de carga parcial, no indica ninguna alteración con respecto al cálculo realizado del equipo de velocidad fija. Retomando la expresión (12) y considerando la temperatura exterior igual a 21°C:

$$F_{PL}(21) = 1 - 0,25(1 - 0,112)$$

$$F_{PL}(21) = 0,778$$

Luego de presentar los pasos para encontrar los valores anteriores, es momento de dar protagonismo al cálculo de la segunda etapa de operación cíclica en el que aparecen la potencia de consumo cuando el equipo opera entre la capacidad plena y media variablemente en función de la temperatura  $P_{hf}(t_j)$ , y el número de horas de referencia.

$$P_{hf}(t_j) = \frac{L_c(t_j)}{E_{ER,hf}(t_j)} \quad (17)$$

Al ser el procedimiento para el cálculo del rendimiento estacional de enfriamiento en Colombia para equipos acondicionadores de aire tipo inverter un poco más extenso que en el caso de los equipos fijos, es preciso aclarar algunos nuevos términos que son fundamentales para el desenvolvimiento matemático.

Ahora, la temperatura puede estar acompañada del subíndice “b” y “c”, en los que cada uno de ellos, representa un valor único de dicha propiedad.  $t_b$ , corresponde al valor de temperatura exterior en el que la carga de enfriamiento es equivalente a la capacidad de carga total; y de manera similar,  $t_c$ , hace referencia al valor de temperatura exterior en el que la carga de enfriamiento coincide con la capacidad de enfriamiento media. Esta aclaración es importante, porque  $t_b$  y  $t_c$ , son puntos de partida para la determinación de  $E_{ER,hf}$  y deben ser calculados como indica el anexo E del estándar ISO 16358-1.

Al  $t_b$  ser la temperatura en que la capacidad de enfriamiento total y la carga de enfriamiento definida coinciden, matemáticamente se encuentra igualando ambas expresiones.

$$L_c(t_b) = \phi_{ful}(t_b) \quad (18)$$

$$\phi_{ful}(t_{100}) \cdot \frac{t_b - t_0}{t_{100} - t_0} = \phi_{ful}(35) + \frac{\phi_{ful}(29) - \phi_{ful}(35)}{35 - 29} \cdot (35 - t_b) \quad (19)$$

Despejando  $t_b$ , queda entonces:

$$t_b = \frac{6\phi_{ful}(t_{100})t_0 + 6\phi_{ful}(35)(t_{100} - t_0) + 0,077 \cdot 35\phi_{ful}(35)(t_{100} - t_0)}{6\phi_{ful}(t_{100}) + 0,077\phi_{ful}(35)(t_{100} - t_0)} \quad (20)$$

Paralelamente sucede con  $t_c$ , que representa el punto en que se interceptan la capacidad de enfriamiento media y la carga de enfriamiento.

$$L_c(t_c) = \phi_{haf}(t_c) \quad (21)$$

$$\phi_{ful}(t_{100}) \cdot \frac{t_c - t_0}{t_{100} - t_0} = \phi_{haf}(35) + \frac{\phi_{haf}(29) - \phi_{haf}(35)}{35 - 29} \cdot (35 - t_c) \quad (22)$$

Cuando se despeja  $t_c$ :

$$t_c = \frac{6\phi_{ful}(t_{100})t_0 + 6\phi_{haf}(35)(t_{100} - t_0) + 0,077 \cdot 35\phi_{haf}(35)(t_{100} - t_0)}{6\phi_{ful}(t_{100}) + 0,077\phi_{haf}(35)(t_{100} - t_0)} \quad (23)$$

Al resolver las expresiones 20 y 23, se tiene que  $t_b = 35^\circ\text{C}$  y  $t_c = 28,2^\circ\text{C}$ .

Obtenidos  $t_b$  y  $t_c$ , es posible encontrar la relación de eficiencia energética cuando la temperatura exterior equivale a 35°C y 28,2°C respectivamente.

Con  $t_b$ :

$$E_{ER,ful}(t_b) = \frac{\phi_{ful}(t_b)}{P_{ful}(t_b)} \quad (24)$$

De (8) y (10), con temperatura correspondiente a 35°C se tiene:

$$\phi_{ful}(t_b) = \phi_{ful}(35) = 7091 \text{ W}$$

$$P_{ful}(t_b) = P_{ful}(35) = 2332 \text{ W}$$

Por lo tanto:

$$E_{ER,ful}(35) = \frac{7091 \text{ W}}{2332 \text{ W}} = 3,04$$

Ahora con  $t_c$ :

$$E_{ER,haf}(t_c) = \frac{\phi_{haf}(t_c)}{P_{haf}(t_c)} \quad (25)$$

Resolviendo (15) y (16) para una temperatura de 28,2°C:

$$\phi_{haf}(t_c) = \phi_{haf}(28,2) = 3883,07 \text{ W}$$

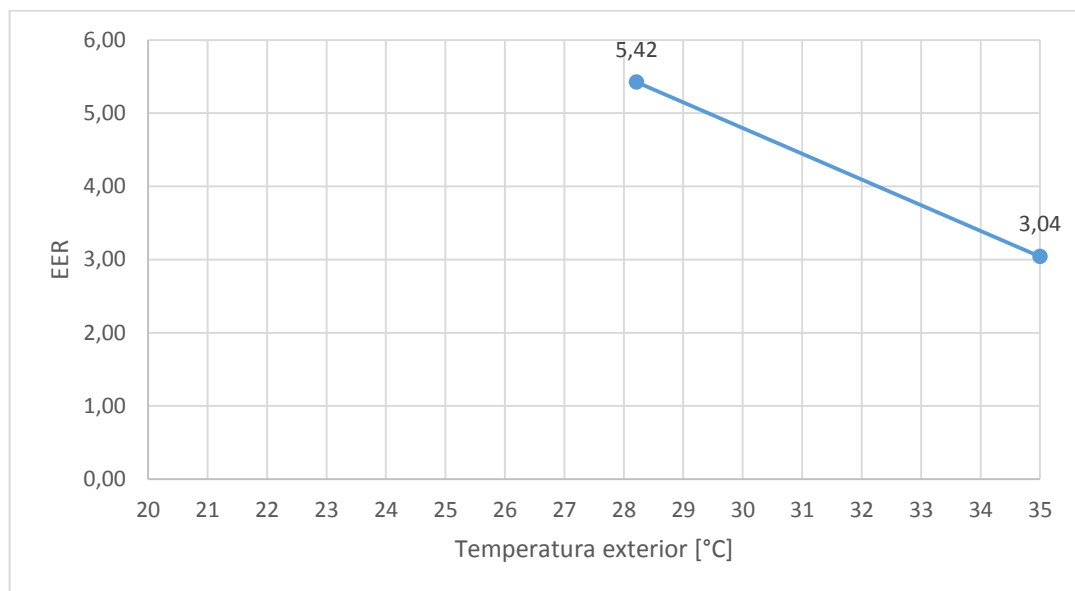
$$P_{haf}(t_c) = P_{haf}(28,2) = 715,87 \text{ W}$$

Por lo tanto:

$$E_{ER,haf}(28,2) = \frac{3883,07 \text{ W}}{715,87 \text{ W}} = 5,42$$

Es evidente que la relación de eficiencia energética es mucho mayor cuando la temperatura es de 28,2°C que cuando corresponde a 35°C. No solo la capacidad de enfriamiento disminuye y la potencia de consumo aumenta conforme lo hace la temperatura, haciendo que se reduzca el factor de desempeño; también es importante resaltar la forma en que son obtenidos los dos valores de relación de eficiencia energética, pues en un caso se calcula teniendo en cuenta resultados

**Figura 16.** Relación de eficiencia energética.



**Fuente:** Autor.

cuando el equipo trabaja al 50% de su capacidad y en el otro, cuando el acondicionador de aire opera a carga total, lo que contribuye a que la diferencia entre los valores de rendimiento incremente (Ver Figura 16).

Con los cálculos realizados hasta ahora, es cómodo encontrar la relación de eficiencia energética cuando el equipo opera entre la capacidad plena y media variablemente en función de la temperatura  $E_{ER,hf}$ , donde es importante destacar, que no debe ser confundido con  $E_{ER,haf}$ , pues el subíndice “hf”, se debe a la unión de las primeras letras de las palabras en inglés *half* y *full*, además, también se



diferencian en que  $E_{ER,haf}$  es un valor único, mientras que es posible encontrar  $E_{ER,hf}$  para diferentes valores de temperatura.

$$E_{ER,hf}(t_j) = E_{ER,haf}(t_c) + \frac{E_{ER,ful}(t_b) - E_{ER,haf}(t_c)}{t_b - t_c} \cdot (t_j - t_c) \quad (27)$$

Cuando  $t_j = 29^\circ\text{C}$

$$E_{ER,hf}(29) = 5,42 + \frac{3,04 - 5,42}{35^\circ\text{C} - 28,2^\circ\text{C}} \cdot (29^\circ\text{C} - 28,2^\circ\text{C})$$

$$E_{ER,hf}(29) = 5,15$$

Luego, calculando  $P_{hf}(t_j)$  para una temperatura de  $29^\circ\text{C}$ :

$$P_{hf}(29) = \frac{4254,6 \text{ W}}{5,15} = 826,42 \text{ W}$$

Repitiendo el procedimiento que corresponde al cálculo de los factores que incluyen la primera y segunda etapa de operación cíclica, considerando todos los valores de temperatura exterior ya establecidos, y sumando cada uno de los resultados obtenidos, se encuentra el consumo energético estacional de enfriamiento del equipo acondicionador de aire.

$$C_{CSE} = \sum_{j=1}^8 \frac{X(t_j) \cdot P_{haf}(t_j) \cdot n_j}{F_{PL}(t_j)} + \sum_{j=9}^{15} P_{hf}(t_j) \cdot n_j = 3210465,43 \text{ W.h}$$

Finalmente, se halla el factor de rendimiento estacional de enfriamiento del equipo de velocidad variable sometido a ensayo considerando la influencia de los pisos térmicos.

$$F_{CSP} = \frac{16124934 \text{ W.h}}{3210465,43 \text{ W.h}} = 5,02 \frac{\text{W.h}}{\text{W.h}}$$

Como se hizo con el equipo de velocidad fija, también es necesario realizar el cálculo del CSPF para equipos acondicionadores de aire de velocidad variable, sin considerar la influencia de los pisos térmicos colombianos, es decir, empleando en los cálculos las horas de referencia establecidos por el estándar internacional.

Nuevamente, las principales diferencias encontradas cuando se comparan los resultados obtenidos al calcular el factor de rendimiento estacional de enfriamiento considerando el clima colombiano, con los expresados en la Tabla 28, se ubican en la capacidad de enfriamiento y la potencia de consumo a carga plena y carga media, que son valores independientes de las horas de referencia. La primera etapa de operación cíclica se da en el rango de temperaturas comprendido entre 21°C y 28°C, y al sobrepasar los 29°C, se observa que la carga de enfriamiento es mayor que la capacidad de enfriamiento a media capacidad, y menor que la capacidad de enfriamiento total para los valores de temperatura restantes, por lo que se manifiesta la segunda etapa de operación cíclica.

Se reflejan grandes cambios en la carga total estacional de enfriamiento y consumo energético estacional de enfriamiento frente a los encontrados previamente en el caso colombiano, debido a que son valores dependientes de las horas de referencia. Es perceptible que la carga de enfriamiento en Colombia es 3,1 veces mayor que la encontrada en la Tabla 28, y también, se indica que el consumo energético del acondicionador de aire en la nación es mayor. Las diferencias en estos valores no son constancia de que se encuentre gran variación en el resultado del factor de desempeño estacional de enfriamiento, por el contrario, en este caso, solo se observa una diferencia de 0,03 en el producto final. Si se clasificaran los equipos por el número de estrellas que llevarían en la etiqueta de acuerdo a su CSPF según los resultados hallados, en ambas oportunidades, el acondicionador de aire sería catalogado con cinco estrellas, lo

que indica que el equipo cumple muy bien con la tarea de climatizar un ambiente, y a un bajo costo energético. No es extraño que este equipo pueda alcanzar la mejor clasificación, pues los acondicionadores de aire de tipo inverter por su tecnología, gastan muy poca energía en comparación con los equipos On/Off, además de prestar un excelente servicio. Esto también se comprueba al observar que en la clasificación de eficiencia energética de Filipinas, el menor número de estrellas que podría adquirir un equipo de velocidad variable, es de cuatro.

**Tabla 28.** Resultado del cálculo del CSPF de un equipo de velocidad variable según la norma ISO 16358-1.

$i$	$t_j$	$n_j$ [h]	$L_c(t_j)$ [W]	$\phi_{full}(t_j)$ [W]	$\phi_{half}(t_j)$ [W]	$P_{full}(t_j)$ [W]	$P_{half}(t_j)$ [W]	$F_{pl}(t_j)$	$x(t_j)$	$E_{ER,hf}(t_j)$	$P_{hf}(t_j)$ [W]	$L_{cst}$ [Wh]	$C_{cse}$ [Wh]
0	20	0	0	8456,02	4259,61	1830,62	622,51	0,750	0	—	—	0	0
1	21	100	472,73	8365,02	4213,77	1864,05	633,87	0,778	0,112	—	—	47273,33	9139,89
2	22	139	945,47	8274,02	4167,93	1897,47	645,24	0,807	0,227	—	—	131419,9	25219,85
3	23	165	1418,20	8183,01	4122,09	1930,90	656,6	0,836	0,344	—	—	234003	44585,65
4	24	196	1890,93	8092,01	4076,25	1964,32	667,97	0,866	0,464	—	—	370622,93	70133,38
5	25	210	2363,67	8001,01	4030,41	1997,75	679,34	0,897	0,586	—	—	496370	93311,65
6	26	215	2836,40	7910,01	3984,57	2031,17	690,7	0,928	0,712	—	—	609826	113916,39
7	27	210	3309,13	7819,01	3938,73	2064,60	702,07	0,96	0,840	—	—	694918	129023,64
8	28	181	3781,87	7728,01	3892,88	2098,02	713,44	0,993	0,971	—	—	684517,9	126350,1
9	29	150	4254,60	7637,01	3847,04	2131,45	724,80	—	—	5,15	826,42	638190	123963,13
0	30	120	4727,33	7546,01	3801,2	2164,87	736,17	—	—	4,80	985,48	567280	118257,82
1	31	75	5200,07	7455	3755,36	2198,30	747,53	—	—	4,45	1169,68	390005	87725,78
2	32	35	5672,80	7364	3709,52	2231,72	758,9	—	—	4,09	1385,47	198548	48491,62
3	33	11	6145,53	7273	3663,68	2265,15	770,27	—	—	3,74	1641,77	67600,9	18059,49
4	34	6	6618,27	7182	3617,84	2298,57	781,63	—	—	3,39	1951,15	39709,6	11706,89
5	35	4	7091	7091	3572	2332	793	—	—	3,04	2332	28364	9328
											<b>Total</b>	5198648,47	1029213,24
											<b>F<sub>CSP</sub></b>	5,05	

***Fuente: Autor.***

Al revisar los resultados obtenidos del factor de rendimiento estacional de enfriamiento tanto para el equipo de velocidad fija como el equipo de velocidad variable, es muy evidente que no tienen una diferencia muy significativa entre sí, tanto, que al llevarse a una tabla de eficiencia energética, ambos acondicionadores de aire coincidirían en el número de estrellas al ser catalogados, ya sea calculando el CSPF considerando la influencia de los pisos térmicos, o teniendo en cuenta el estándar internacional.

Como se ha mencionado, el principal responsable de las diferencias en los resultados del CSPF es el número de horas de referencia, en el que desde el inicio se destaca la disparidad en el número total de horas de la temporada de enfriamiento, que en Colombia corresponde a 6168, mientras que la norma ISO 16358-1 comprende 1817 horas de referencia. La relación más cercana presente asociada a los valores nombrados, es que, en el caso nacional, el número mayor de horas se da cuando la temperatura exterior es de 25°C, y según lo estipulado en la norma, la mayor frecuencia se da a los 26°C.

Otro aspecto que ha sido posible detallar, es que al ser el factor de rendimiento estacional de enfriamiento en Colombia del equipo de velocidad fija, mayor que el calculado según el estándar internacional, no garantiza un acontecimiento similar para el acondicionador de aire de velocidad variable, que ha reflejado un valor menor en el factor de desempeño colombiano.

Es válido afirmar que al implementar la norma ISO 16358-1, se está pronosticando el número de horas que estaría encendido y la temperatura exterior a la que se encontraría sometido un acondicionador de aire durante un año natural, lo que conlleva que al momento de realizar el cálculo del CSPF sea posible estimar la capacidad de enfriamiento que será exigida y la potencia consumida por el equipo durante ese mismo periodo de tiempo, y así facilitar la obtención de un resultado de rendimiento energético más preciso que cuando se está midiendo la eficiencia de un equipo climatizador por medio del EER, resultante de la relación existente entre capacidad de enfriamiento y potencia consumida, evaluada en un punto determinado, específicamente cuando el acondicionador de aire está operando al 100% de su capacidad. Conociendo que cotidianamente, durante la mayor parte del tiempo el funcionamiento de un equipo se desarrolla a diferentes cargas, no se considera factible contemplar la idea de comparar la relación de eficiencia energética con el CSPF, que, en otras palabras, es un factor de rendimiento a carga parcial [30].

## 6. CONCLUSIONES

Ha sido estudiado y caracterizado el clima colombiano, del cual se han seleccionado siete ciudades que representan algunos pisos térmicos del país con el fin de implementar la norma ISO 16358-1 para el cálculo del factor de desempeño estacional de enfriamiento en Colombia. Se han recolectado datos de temperatura hora a hora de cada localidad por medio del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, posteriormente han sido ponderados para encontrar la frecuencia en horas con que se evidencia cada temperatura y luego sometidos a un tratamiento estadístico para encontrar la distribución de probabilidad normal y estimar una aproximación del número de horas que podría frecuentar cada temperatura en un año natural con la finalidad de desarrollar una tabla de referencia de temperaturas exteriores local, como la instaurada en el estándar internacional, que infortunadamente, es probable que carezca de precisión al ser generada únicamente a partir del registro de temperatura hora a hora del año 2018 carente de datos, pues lo ideal sería considerar al menos información de al menos 10 años previos, y los proporcionados, son de insuficiente confiabilidad.

Por otra parte, se ha establecido un procedimiento experimental siguiendo los lineamientos del estándar ISO 16358-1 en el que se decide someter a prueba un equipo de velocidad fija y capacidad de enfriamiento determinada por el fabricante de 18000 BTU/h y otro de velocidad variable con capacidad de enfriamiento nominal de 24000 BTU/h y los resultados se han utilizado para efectuar el modelamiento matemático presente en la norma para calcular el CSPF. La ejecución algebraica ha arrojado un resultado del factor de rendimiento estacional de enfriamiento en Colombia del equipo de velocidad fija de 3,017 y para el equipo tipo inverter un valor de 5,02, que demuestra la superioridad en la relación beneficio-consumo del acondicionador de aire de velocidad de variable, frente al On/Off. También, se puede afirmar que a partir del cálculo del CSPF, es posible

tener una proyección de la capacidad de enfriamiento emanada y la potencia consumida por el equipo en cuestión durante la temporada de enfriamiento, además es un factor de desempeño más preciso que el EER, pues el CSPF, mide el rendimiento de un equipo a carga parcial, que es la misma forma en la que trabajan los equipos rutinariamente, mientras que la relación de eficiencia energética se estima en un ensayo a plena carga, que es un modo de operación inusual en equipos de múltiples etapas.

Luego de los resultados obtenidos de factor de desempeño estacional de enfriamiento al considerar la influencia de los pisos térmicos, se ha calculado el CSPF como indica la norma ISO 16358-1 de los equipos ya mencionados con el propósito de comparar los valores conseguidos. La apreciación más evidente es que los términos independientes de las horas de referencia son iguales para ambos equipos, por lo que particularmente difieren de gran manera en la carga total estacional de enfriamiento y el consumo energético estacional de enfriamiento, sin embargo, el resultado obtenido del CSPF como indica la norma, y el CSPF teniendo en cuenta el efecto del clima colombiano, presentan una discrepancia poco significativa. La afirmación anterior, refleja la trascendencia de las horas de referencia para realizar el cálculo el factor de rendimiento estacional de enfriamiento.

Hablando de horas de referencia, y dejando de lado el inconveniente de la insuficiencia de datos adquiridos, se podría afirmar que si se construyera una tabla de referencia de temperaturas exteriores para cada localidad, se podrían obtener resultados más precisos para el cálculo del CSPF, sin embargo, no es conveniente, pues para suministrar los resultados del CSPF por parte del laboratorio, debería conocerse el sitio hacia el que el equipo va a ser distribuido, lo cual es incierto.

No solo en el campo de los acondicionadores de aire, sino en todos en los que la eficiencia energética tenga cabida, es muy importante desarrollar estudios que contribuyan a obtener el mejor provecho de diferentes clases de equipos o sistemas, y a su vez, eviten el deterioro de la capa de ozono y la propagación de emisiones contaminantes a la atmósfera.



## 7. RECOMENDACIONES

Ya finalizado este trabajo de grado, es importante resaltar algunos puntos que pueden ser profundizados, de manera que sirvan como extensión o mejora de los resultados aquí plasmados.

Para una mayor precisión al momento de calcular el factor de desempeño estacional de enfriamiento considerando el clima colombiano, es indispensable extender el periodo de temperaturas tenido en cuenta con el fin de construir la tabla de temperaturas exteriores para Colombia, además, es importante actualizar dicha tabla periódicamente, considerando que el clima tiene un comportamiento cambiante, pues siguiendo esta tendencia, en un futuro no será extraño percibir una diferencia considerable de temperaturas con respecto a las actuales.

El desarrollo de este proyecto sirve de impulso para ejecutar métodos como el “*bin method*”, “*modified bin method*”, y “*advanced bin method*”, que tienen relación con la temperatura exterior y el número de horas de referencia que permiten calcular el calor disipado en recintos, útiles para atender las necesidades energéticas de estos espacios.

El estándar estadounidense AHRI 210/240 presenta un mapa de Estados Unidos al que se le añaden unas líneas que lo atraviesan y representan la carga de enfriamiento correspondiente a los diferentes sectores del país [31]. Se considera que es un aporte importante que con base a este se desarrolle un mapa similar considerando el clima de Colombia.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] W. H. Chen, H. E. Mo, and T. P. Teng, "Performance improvement of a split air conditioner by using an energy saving device," *Energy Build.*, vol. 174, pp. 380–387, 2018.
- [2] L. Pérez, J. Ortiz, and C. Pout, "A review on buildings energy consumption information ´," vol. 40, pp. 394–398, 2008.
- [3] J. Wu, Z. Xu, and F. Jiang, "Analysis and development trends of Chinese energy efficiency standards for room air conditioners," *Energy Policy*, vol. 125, no. November 2018, pp. 368–383, 2019.
- [4] N. Pabon Tello, H. Mariaca Orozco, A. Antolínez Esquivel, A. Leyva Mejia, C. Caicedo, and O. Acevedo, *Manual de buenas prácticas en refrigeración*. 2014.
- [5] ISO Standard 5151. (2017). Non-ducted air conditioners and heat pumps - Testing and rating for performance, *International Organization for Standardization*. .
- [6] ISO Standard 16358-1. (2013). Air-cooled air conditioners and air-to-air heat pumps - testing and calculating methods for seasonal performance factors - part 1: cooling seasonal performance factor., *International Organization for Standardization*. .
- [7] Sandoval, "Las estaciones del año en el Planeta Tierra," *Scielo*, pp. 0–1, 2015.
- [8] J. O. Rangel-Ch., H. Sanchez, P. Lowy, M. Aguilar, and A. Castillo, *Una aproximación sobre la diversidad climática en las regiones naturales de Colombia*. 1995.
- [9] R. de C. Congreso de Colombia, "Ley 697 de 2001," *D. Of.*, vol. 44573, no. Octubre 3, pp. 1–4, 2001.
- [10] "Diferencias entre un aire acondicionado inverter y on/off." [Online]. Available: <http://www.akraclima.com/2018/12/04/diferencias-entre-un-aire-acondicionado-inverter-y-on-off/>. [Accessed: 21-May-2020].

- [11] C. de R. I. y E.- CRIE, “Laboratorio de Pruebas y Ensayos para Equipos de Aire Acondicionado (LPEA).” [Online]. Available: <https://portafolioviceiie.utp.edu.co/laboratorio-de-pruebas-y-ensayos-para-equipos-de-aire-acondicionado-lpea>. [Accessed: 28-Aug-2019].
- [12] C. A. Orozco and N. J. Fonseca, “ASPECTOS NORMATIVOS , LEGALES Y METODO DE ENSAYO EN LAS PRUEBAS DE,” vol. 16, no. 30, pp. 179–183, 2006.
- [13] J. Camilo, Z. Mina, Á. A. Andrade, Á. H. Restrepo, and J. E. Tibaquirá, “Estudio experimental de la influencia de la carga del refrigerante R410A en el rendimiento de un equipo acondicionador de aire Experimental study of the influence of refrigerant charge R410A on performance of air-conditioning system,” pp. 1–7.
- [14] M. S. Yoon, J. H. Lim, T. S. M. AL Qahtani, and Y. Nam, “Experimental study on comparison of energy consumption between constant and variable speed air-conditioners in two different climates,” *Proc. 9th Asian Conf. Refrig. Air-conditioning*, no. August, pp. 4–8, 2018.
- [15] Instituto Geográfico “Agustín Codazzi,” *Atlas De Colombia*. Colombia : Instituto Geografico Agustin Codazzi, 2002, 2002.
- [16] IDEAM, *Atlas climatológico de Colombia*. Colombia : Imprenta Nacional de Colombia, 2005, 2005.
- [17] “Clasificación climática.” [Online]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/clima-text.pdf>. [Accessed: 08-Oct-2019].
- [18] “Temáticos | GEOPORTAL.” [Online]. Available: <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/tematicos>. [Accessed: 08-Oct-2019].
- [19] DANE, “Proyecciones de población 2005-2020.” [Online]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>. [Accessed: 09-May-2019].
- [20] D. Erbs, S. Klien, and W. Beckman, “Estimation of Degree-Days And Ambient Temperature Bin Data From Monthly-Average Temperatures,” *Ashrae*, no. June. pp. 60–65, 1983.

- [21] C. Coskun, "A novel approach to degree-hour calculation: Indoor and outdoor reference temperature based degree-hour calculation," *Energy*, vol. 35, no. 6, pp. 2455–2460, 2010.
- [22] "Nosotros - Aeropuerto Barranquilla BAQ." [Online]. Available: <https://aeropuertobaq.com/nosotros/>. [Accessed: 21-Mar-2020].
- [23] H. Seasons *et al.*, "Heating and Cooling (Temperature Set Point) Policy," 2016.
- [24] C. Ghiaus, "Free-running building temperature and HVAC climatic suitability," *Energy Build.*, vol. 35, no. 4, pp. 405–411, 2003.
- [25] W. Padilla Pardo, "Distribuciones de Probabilidad," *Epidat*, p. 72, 2014.
- [26] J. C. Angel Guitierrez, *Estadística General Aplicada*. Colombia: Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2007, 2007.
- [27] *Estadística en fenómenos naturales y procesos sociales*. .
- [28] O. S. Tokyo *et al.*, "CD VALUE OF COOLING SEASONAL PERFORMANCE FACTOR," no. May, pp. 3–4, 2011.
- [29] D. O. E. Dc--, "Republic of the Philippines Edition 2016 Annex B . 1 Particular Product Requirements: Air Conditioners Table of Contents," pp. 1–11, 2016.
- [30] "Ahorro Energético - Toshiba Aire Acondicionado." [Online]. Available: <https://www.toshiba-aire.es/aun-comparas-equipos-de-aire-acondicionado-por-su-eficiencia-al-100-de-carga/>. [Accessed: 21-Nov-2019].
- [31] Air-Conditioning Heating and Refrigeration Institute (AHRI), "Standard, Performance Rating of Unitary Air-Conditioning & Air-Source Heat Pump Equipment," *ANSI/AHRI Stand. 210/240*, vol. 2, no. December, p. 136, 2012.

## 7. ANEXOS

### ANEXO 1. Tabla de distribución normal estándar.

**Tabla 29.** Tabla de probabilidades acumuladas de una distribución normal estándar.  
Parte 1.

Tabla de probabilidades acumuladas de una distribución normal estándar										
Z*	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.8	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
-3.7	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
-3.6	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
-3.5	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
-3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
-3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
-3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
-3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0046	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2110	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641

Fuente: [27].

**Tabla 30.** Tabla de probabilidades acumuladas de una distribución normal estándar.  
Parte 2.

Tabla de probabilidades acumuladas de una distribución normal estándar										
Z*	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.648	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.834	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	1.0000

**Fuente:** [27].